

PENGARUH PENAMBAHAN METAKAOLIN PADA BETON BERPORI NON-PASIR TERHADAP NILAI KUAT TEKAN

Matthew Fernando¹, Anis Rakhmawati², Ali Murtopo³

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar,

Jl. Kapten Suparman 39 Potrobangsari, Magelang Utara, Magelang, Jawa Tengah 56116

matthew.fernando27@gmail.com¹ anisrakhmawati@untidar.ac.id² a.m@untidar.ac.id³

ABSTRAK

Beton porous adalah jenis beton khusus dengan porositas tinggi yang diaplikasikan sebagai plat beton yang memungkinkan air hujan dan air dari sumber-sumber lain untuk dapat melewatinya, sehingga mengurangi limpasan permukaan dan meningkatkan muka air tanah. Metakaolin merupakan salah satu alternatif bahan pengganti semen untuk meningkatkan kualitas beton dan mengurangi kelemahan yang terdapat pada beton konvensional. Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh penambahan metakaolin pada beton porous terhadap kuat tekannya.

Pengujian kuat tekan beton silinder mengacu pada SNI 1974-2011 dengan benda uji berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Faktor air semen yang digunakan sebesar 0,45 dengan gradasi agregat kasar maksimum 40mm. Variasi pada penelitian ini yaitu terletak pada banyaknya bubuk metakaolin yang digunakan sebagai campuran pengganti semen.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan bubuk metakaolin berpengaruh terhadap nilai kuat tekan beton. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata metakaolin 0% sebesar 4,419 MPa, nilai kuat tekan rata-rata metakaolin 5% sebesar 7,962 MPa, nilai kuat tekan rata-rata metakaolin 7,5% sebesar 7,054 MPa, nilai kuat tekan rata-rata metakaolin 10% sebesar 12,975 MPa, nilai kuat tekan rata-rata metakaolin 12,5% sebesar 13,256 MPa. Variasi bubuk metakaolin sebanyak 12,5% memiliki kuat tekan tertinggi.

Kata kunci: Beton porous, kuat tekan, metakaolin

ABSTRACT

Porous concrete is a special type of concrete with high porosity that is applied as a concrete plate that allows rainwater and water from other sources to be able to pass through it, thereby reducing surface runoff and increasing groundwater levels. Metakaolin is one of the alternative cement replacement materials to improve the quality of concrete and reduce the weaknesses found in conventional concrete. The purpose of this study is to find out the effect of the addition of metakaolin on porous concrete on the strength of the press.

The test of cylindrical concrete press strength refers to the SNI 1974-2011 with test objects measuring 15 cm in diameter and 30 cm high. This test was carried out at the Civil Engineering Laboratory, Faculty of Engineering, Tidar Magelang University. The variation in this study is located in the amount of metakaolin powder used as a mixture instead of cement.

The results showed that the addition of metakaolin powder had an effect on the strong value of concrete presses. The test results of the press strength strong press average metakaolin 0% of 4,419 MPa, the average press strength value of metakaolin 5% of 7,962 MPa, the average press strength value of metakaolin 7.5% of 7.054 MPa, the average press strength value of metakaolin 10% of 12,975 MPa, the average press strength value of metakaolin 12.5% of 13,256 MPa. The metakaolin powder variation of 12.5% has the highest compressive strength.

Keywords: Porous concrete, Metakaolin, Strength of the press

PENDAHULUAN

Beton merupakan campuran antara

agregat kasar, agregat halus, semen, dan air.

Air dan semen yang dicampur akan

membentuk pasta semen yang berfungsi sebagai pengikat bahan penyusun lainnya. Seiring berjalannya waktu komposisi dan jenis-jenis agregat mengalami perkembangan dan banyak perubahan.

Kelebihan beton dibandingkan dengan bahan yang lain, yaitu beton relatif lebih murah dan mudah dalam pengerjaan dan perawatannya, tahan terhadap perubahan cuaca, api, korosi, serta mudah dibentuk sesuai kebutuhan. Beton memiliki kelebihan yang menonjol yaitu kuat tekan yang tinggi yang diperoleh dengan cara pemilihan bahan serta perencanaan rancangan campur yang tepat namun beton memiliki kelemahan struktural yang mudah getas dan tidak ramah lingkungan karena air menjadi susah untuk meresap kembali ke dalam tanah bila hujan terjadi.

Penggunaan beton konvensional yang terus meningkat mengakibatkan lapisan kedap air semakin luas, sehingga air hujan tidak dapat berinfiltrasi ke dalam tanah dan mengakibatkan limpasan permukaan (*surface runoff*) menjadi lebih besar. Hal ini mengakibatkan muka air tanah menjadi turun dan terjadi genangan atau banjir pada musim hujan.

Beton porous adalah jenis beton khusus dengan porositas tinggi yang diaplikasikan sebagai plat beton yang memungkinkan air hujan dan air dari sumber-sumber lain untuk dapat melewatinya, sehingga mengurangi limpasan permukaan dan meningkatkan muka air tanah. Porositas tinggi tercapai karena rongga yang saling berhubungan. Umumnya beton porous menggunakan sedikit atau tanpa agregat halus dan memiliki cukup pasta semen untuk melapisi permukaan agregat kasar dan untuk menjaga interkoneksi pori. Beton porous sering digunakan untuk area parkir, di daerah lampu lalu lintas, dan trotoar untuk pejalan kaki (NRMCA, 2004).

Beton porous memiliki banyak nama yang berbeda diantaranya adalah beton tanpa agregat halus (*zero-fines concrete*), beton yang dapat tembus (*pervious concrete*), dan beton berpori (*porous concrete*). Penamaan tersebut menjadi beragam karena perbedaan

bahan penyusunnya. Walaupun banyak penamaan yang berbeda pada dasarnya beton porous adalah beton yang dapat ditembus air dengan mudah.

Kuat tekan beton tanpa pasir lebih rendah dari kuat tekan beton normal konvensional karena peningkatan porositas. Kuat tarik dan kuat lentur beton tanpa pasir juga jauh lebih rendah dari beton konvensional.

Pasta semen yang mengeras memiliki tekstur yang berpori. Pori-pori tersebut akan berpengaruh terhadap permeabilitas beton. Oleh karena itu perlu adanya penggunaan bahan tambah yang dapat memperbaiki sifat tersebut. Salah satu bahan tambah yang dapat digunakan adalah metakaolin [1].

Metakaolin adalah pozolan yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen untuk meningkatkan kualitas beton dan mengurangi kelemahan yang terdapat pada beton konvensional. Metakaolin dihasilkan dari proses pemanasan kaolin pada suhu 500-900°C selama 6 jam, berbentuk serbuk berukuran 0,5-5 mikron yang memiliki warna putih. [2]

Penambahan metakaolin pada campuran beton berfungsi sebagai pengisi pori sehingga akan menambah kepadatan pasta semen. Kandungan SiO_2 dalam metakaolin akan bereaksi dengan Ca(OH)_2 yang dihasilkan dari reaksi hidrasi semen sehingga membentuk ikatan berbentuk gel yang memperkuat ikatan dalam pasta semen.

Penggunaan metakaolin pada beton normal 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 kuat tekan dan mengurangi waktu *setting* beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan metakaolin terhadap kuat tekan beton [3].

LANDASAN TEORI

Beton

Suatu campuran yang mempunyai proporsi tertentu dari semen, pasir, kerikil dan air akan membentuk suatu material keras

dan menyerupai batu yang dinamakan beton. Beton dapat dicetak sesuai dengan bentuk dan dimensi struktur yang diinginkan. Semen akan bereaksi secara kimiawi dengan material lainnya seperti agregat, pasir, dan air sehingga akan menjadi suatu massa yang padat.

Beton Berpori

Beton porous (*Porous Concrete*) adalah material beton spesial dengan porositas tinggi yaitu antara 15-30% rongga udara sehingga mudah untuk dilalui air. Beton berpori dibuat dari campuran air, semen, agregat kasar dengan sedikit atau tanpa agregat halus agar didapatkan pori-pori yang cukup banyak dan berhubungan.

Pembuatan beton berpori memerlukan rancang campur bahan penyusunnya (*mix design*) dalam mendesign rancang campur beton berpori didesign dengan *mix design* SNI 03-2834-2000 untuk mencapai f'c 15 MPa dengan kemampuan kuat tekan beton yang lebih tinggi dan kemampuan menyerap air yang baik.

Bahan penyusun beton berpori terdiri dari beberapa komponen antara lain:

1. Semen *Portland*

Semen *Portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klingker yang terutama yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidolis dengan gips sebagai bahan tambahan (PUBI 1982).

2. Agregat Kasar

Berdasarkan PBI 1971, agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari hasil penggilingan batu.

3. Air

Air adalah salah satu faktor penting dalam perencanaan *mix design* karena air bereaksi dengan semen yang menjadi pasta semen yang akan menjadi pengikat agregat dalam campuran beton.

4. Metakaolin

Metakaolin merupakan hasil pembakaran dari kaolin pada suhu 4500C-9000C yang mempunyai ukuran partikel lebih kecil dari silica fume dan banyak

mengandung SiO₂ (54,64%) dan Al₂O₃ (42,87%). Metakaolin adalah bahan yang unik karena bukan merupakan limbah industri maupun bahan alami, bahan ini berasal dari alam namun sengaja diolah secara spesifik untuk bahan tambah semen [4].

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. [5]

Faktor Air Semen (FAS)

Faktor air semen (FAS) atau *water cement ratio* (wcr) merupakan perbandingan jumlah air dalam suatu campuran beton. FAS merupakan indikator yang penting dalam perancangan campuran beton, atau dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$FAS = \frac{\text{Berat air (kg)}}{\text{Jumlah semen (kg)}} \dots\dots\dots(1)$$

Kuat Tekan

Kuat tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari keseluruhan struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan [6].

Persamaan yang digunakan untuk mengetahui kuat tekan beton berdasarkan SNI 03-1974-1990 sebagai berikut:

$$F'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2)$$

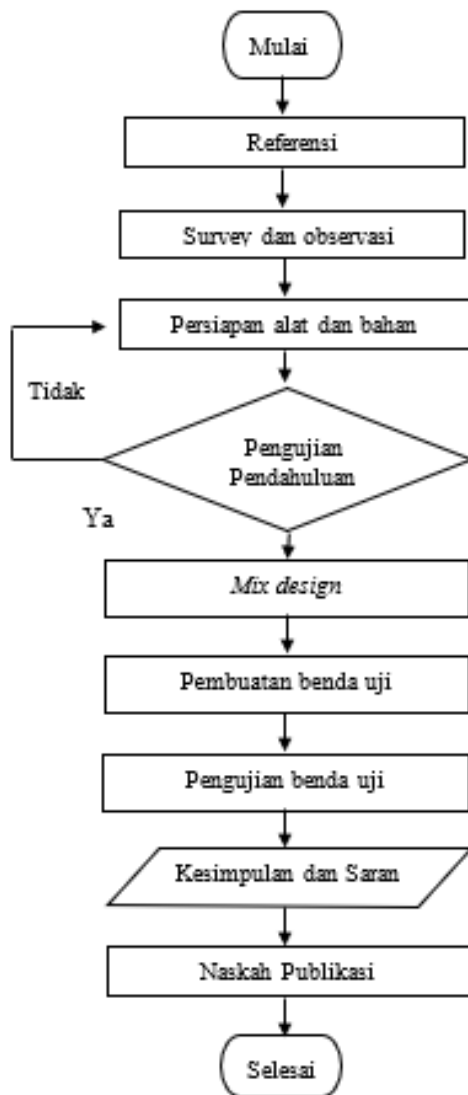
Keterangan:

- F'c = Kuat tekan beton (MPa)
- P = Beban maksimum (N)
- A = Luas permukaan benda uji (mm²)

METODE

Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian dapat dilihat padagambar di bawah ini:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Lokasi Penelitian

Pembuatan dan pengujian benda uji dilaksanakan di Laboratorium Bahan Bangunan dan Struktur, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Magelang.

Variabel Penelitian

Benda uji yang digunakan adalah beton berpori berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dengan tinggi 30 cm dengan kadar metakaolin 0%; 5%; 7,5%; 10% dan 12,5%. seperti yang dijelaskan dalam Tabel 1 pengujian kuat tekan direncanakan dilakukan pada beton berpori yang berumur 28 hari.

Tabel 1. Variabel Benda Uji

No	Kadar Metakaolin	Umur (hari)	Jumlah Benda Uji
1.	0%	28	3
2.	5%	28	3
3	7,5%	28	3
4	10%	28	3
5	12,5%	28	3

Kebutuhan bahan-bahan dalam pembuatan beton dengan tambahan metakaolin dihitung berdasarkan volume benda uji dengan mutu beton rencana sebesar 15 MPa. Formulir perencanaan campuran beton dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Formulir Perencanaan Campuran Beton

No	Uraian	Tabel Grafik Perhitungan	Nilai
1	Kuat Tekan yang disyaratkan pada umur 28 hari	Ditetapkan	15 MPa
2	Deviasi Standar (sr)	Tabel 1	12 MPa
3	Nilai Tambah (M)	Butir 4.2.3.1. 2)	27 MPa
4	Nilai tambah akibat porositas	30% dari poin 3	8,1 MPa
5	Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (f_c')	Poin 3 + 4	35,1 MPa
6	Jenis Semen	Ditetapkan	Semen Portland I
7	Jenis Agregat : - Kasar	Ditetapkan	- Kasar: Batu Pecah
8	Faktor air semen bebas	Grafik 1	0,45
9	Faktor air semen maksimum	Tabel 4	0,60
10	Slump	Ditetapkan butir 4.2.3.3	10-14 cm
11	Ukuran agregat maksimum	Butir 4.2.3.4	40 mm
12	Kebutuhan air bebas (w)	Tabel 3	175 liter
13	Kadar Semen	Poin 12 : 9	291,6 kg
14	Kadar semen portland maksimum (Ws)	Ditetapkan	291,6 kg
15	Kadar semen portland minimum	Tabel 4	275 kg
16	Faktor air semen yang disesuaikan	Ditetapkan	0,6
17	Susunan agregat kasar	Grafik 7 s/d 12 Tabel 7	
20	Berat jenis relative, agregat (kering permukaan)	Butir 4.2.3.6	2,60
21	Berat isi beton (ρ_b)	Grafik 16	2450 kg/m ³
22	Kadar agregat gabungan (Wc)	Point (20-11-12)	1983,4 kg/m ³
23	Kadar agregat kasar (Wk)	Point (22)	1983,4 kg/m ³
24	Proporsi campuran (tiap 1 m ³)		

Mekanisme Pengujian Kuat Tekan

Pengujian yang dilakukan antara lain uji berat jenis dan gradasi agregat kasar, uji slump, dan uji kuat tekan. Metode pengujian kuat lentur mengacu pada SNI 03-1974-1990. Berikut adalah tata cara pengujian kuat tekan beton:

1. Menyediakan benda uji dan memberi tanda pada setiap benda uji;

2. Meletakkan benda uji pada mesin CTM (*Compression Testing Machine*) atau alat uji tekan secara centris;
3. Menjalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2 sampai 4 kg/cm² per detik;
4. Melakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur dan mencatat beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji;
5. Menggambar bentuk pecah dan mencatat hasil pengujian;
6. Mengolah data yang telah didapat dari pengujian.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian Gradasi Agregat

Hasil pemeriksaan gradasi diperoleh dari pemeriksaan gradasi agregat kasar (kerikil) menggunakan alat *sieve shaker*, kemudian menimbang kerikil yang tertinggal pada setiap ayakan yang digunakan. Hasil pengujian gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.

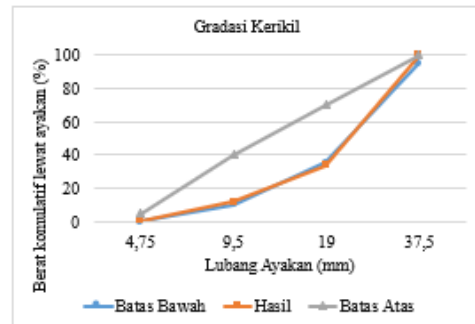
Tabel 3. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar

Saringan Nomor	Ukuran (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat kumulatif tertinggal (%)	Berat kumulatif lewat ayakan (%)
3/4	19	1569	66,51	66,51	33,49
3/8	9,5	516	21,87	88,38	11,62
4	4,75	261	11,06	99,45	0,55
6	2,36	0	0,00	99,45	0,55
16	1,18	0	0,00	99,45	0,55
30	0,6	0	0,00	99,45	0,55
100	0,3	0	0,00	99,45	0,55
200	0,15	0	0,00	99,45	0,55
Sisa		13	0,55	-	-
Jumlah		2359	100	751,59	-

Modulus halus butir ialah suatu indeks yang dipakai untuk menjadi ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. MHB agregat kasar sebesar 7,519.

Agregat kasar yang digunakan berukuran 9,5-20 mm, sehingga pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa agregat tidak tertahan disemua lubang ayakan atau agregat yang digunakan seragam. Modulus halus butir agregat berkisar antara 5,0-8,0. Berdasarkan

Tabel 3 untuk pengujian gradasi agregat kasar (kerikil) memiliki hubungan antara lubang ayakan dan berat kumulatif ayakan. Grafik persentase lolos agregat kasar maksimum 40 mm dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Persentase Lolos Agregat Kasar Maksimum 40 mm

Pengujian Berat Jenis Agregat

Pengujian ini dilakukan sebanyak 2 kali pada bahan agregat kasar. Pengujian berat jenis dilakukan untuk menggolongkan jenis pemakaian beton. Hasil pengujian berat jenis agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Pengujian	Notasi	I	II	Satuan
Berat agregat dalam keadaan kering oven	A	2398	2405	gram
Berat agregat dalam keadaan SSD	B	2500	2500	gram
Berat benda uji dalam air	C	1457	1464	gram
Pengujian	Notasi	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah kering (S _d)	$\frac{A}{B-C}$	2,29	2,32	2,30
Berat jenis curah jenuh kering permukaan (S _a)	$\frac{B}{B-C}$	2,39	2,41	2,40
Berat jenis semu (S _a)	$\frac{A}{A-C}$	2,54	2,55	2,54
Penyerapan air (S _w)	$\frac{B-A}{A}$ 100%	4,25 %	3,95 %	4,1 %

Berdasarkan hasil yang didapatkan rata-rata tiga kali pengujian dari berat jenis kerikil yaitu 2,501. Pemeriksaan pengujian berat jenis agregat kasar dilakukan berdasarkan SNI 1969-2008 yang bertujuan untuk menentukan berat jenis SSD. Agregat normal ialah agregat yang berat jenisnya antara 2,5 sampai 2,7 dapat disimpulkan bahwa nilai berat jenis agregat kasar dan agregat halus yang telah diuji telah memenuhi syarat agregat normal untuk digunakan sebagai campuran beton.

Pengujian Slump

Pengujian *slump* pada adukan beton

dalam penelitian ini dilakukan dua kali setiap satu variasi campuran dan kemudian mengambil nilai rata-ratanya. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian *Slump*

Kode BU	Kadar Metakaolin (%)	<i>Slump</i> (cm)		Rata-rata <i>Slump</i> (cm)
		1	2	
A	0	10,8	10,5	10,65
B	5	10,9	11,4	11,15
C	7,5	11	10,6	10,8
D	10	11,7	11	11,35
E	12,5	11,4	11,8	11,6

Berdasarkan hasil pengujian *slump* pada Tabel 5. bahwa semua variasi memenuhi standar yang ditetapkan. Nilai *slump* meningkat seiring bertambahnya persentase metakaolin. Hal ini terjadi karena semakin banyak kadar metakaolin yang digunakan semakin sedikit pula air yang terdapat pada beton. Metakaolin memiliki butir yang lebih besar dari pada semen yang menyebabkan banyak mengikat atau menyerap kandungan air pada beton. Yang mana membuat beton semakin lebih kental dan menurunkan workabilitas. Dapat disimpulkan penambahan metakaolin berpengaruh terhadap nilai *slump*.

Pengujian Kuat Tekan Beton

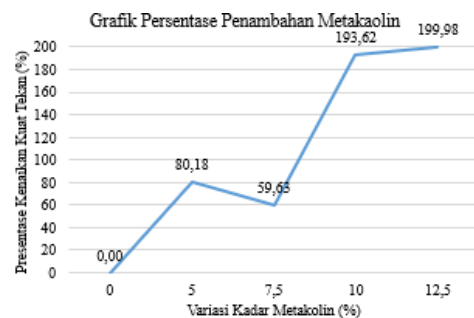
Pengujian kuat tekan beton berpori non-pasir dilakukan setelah beton dilakukan perawatan perendaman selama 28 hari. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan tekanan pada benda uji sampai diperoleh beban maksimum yang dapat ditahan oleh beton berpori non-pasir. Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode	Kadar Metakaolin (%)	Berat (Kg)	Dimensi		Luas Penampang (mm ²)	Gaya Tekan (N)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
			Tinggi (mm)	Diameter (mm)				
A1	0	9,280	295	150	17678,571	77943,530	4,408	4,419
A2		9,660	295	148	17210,286	62029,320	3,604	
A3		9,400	292	149	17443,643	91461,990	5,243	
B1	5	9,935	298	150	17678,571	112757,400	6,378	7,962
B2		10,360	295	149	17443,643	159772,770	9,159	
B3		10,335	289	149	17443,643	145629,320	8,348	
C1	7,5	10,335	300	147	16978,300	112477,100	6,624	7,054
C2		10,745	297	150	17678,571	130254,220	6,362	
C3		10,810	281	150	17678,571	144503,400	8,173	
D1	10	11,150	298	149	17443,643	278354,900	15,957	12,975
D2		10,855	295	150	17678,571	207748,200	11,751	
D3		10,630	297	149	17443,643	195645,400	11,216	
E1	12,5	10,580	299	149	17443,643	241275,300	13,832	13,256
E2		10,890	300	148	17210,286	229257,000	13,321	
E3		10,565	301	151	17915,071	226023,990	12,616	

Berdasarkan Tabel di atas dapat dilihat bahwa pada variasi A, diperoleh nilai kuat

tekan rata-rata sebesar 4,419 MPa, nilai kuat tekan rata-rata variasi B sebesar 7,962 MPa, nilai kuat tekan rata-rata variasi C sebesar 7,054 MPa, nilai kuat tekan rata-rata variasi D sebesar 12,975 MPa, nilai kuat tekan rata-rata variasi E sebesar 13,256 MPa. Pada penelitian ini kuat tekan beton yang mencapai rencana yaitu pada kadar metakaolin sebanyak 10% dan 12,5%. Kenaikan kuat tekan berdasarkan penambahan persentase metakaolin dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kenaikan Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton pada umur 28 hari secara keseluruhan mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar metakaolin. Pada kadar metakaolin sebanyak 7,5% kuat tekan beton mengalami penurunan. Hal ini diperkirakan karena pada saat pengujian terjadi kesalahan teknis pada mesin. Kuat tekan beton juga dipengaruhi oleh beberapa hal seperti reaksi antara metakaolin dengan semen, pengaruh faktor air semen, kepadatan beton, dan lain lain.

Faktor air semen yang kecil akan meningkatkan kekuatan beton dikarenakan hal tersebut beriringan dengan peningkatan kekentalan beton yang berdampak pada tingkatnya homogenitas beton. Begitu pula sebaliknya, semakin tinggi faktor air semen semakin kecil pula kuat tekan yang didapatkan. Air menyebabkan cambutan beton menjadi lebih encer dan dapat meningkatkan workabilitas beton, namun bila berlebihan dapat terjadi *bleeding* dan segregasi.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Hasil pengujian menunjukkan penambahan metakaolin pada beton berpori non-pasir berpengaruh terhadap

nilai kuat tekan seiring dengan meningkatnya kadarnya. Nilai kuat tekan yang mengalami penurunan pada variasi C terjadi karena kesalahan teknis dalam pengujian.

2. Hasil pengujian kuat tekan rata-rata variasi A (metakaolin 0%) sebesar 4,419 MPa, nilai kuat tekan rata-rata variasi B (metakaolin 5%) sebesar 7,962 MPa, nilai kuat tekan rata-rata variasi C (metakaolin 7,5%) sebesar 7,054 MPa, nilai kuat tekan rata-rata variasi D (metakaolin 10%) sebesar 12,975 MPa, nilai kuat tekan rata-rata variasi E (metakaolin 12,5%) sebesar 13,256 MPa. Kuat tekan rata-rata tertinggi yaitu pada variasi E dengan kadar metakaolin sebanyak 12,5%.

Saran

1. Disarankan menggunakan merek dan jenis semen yang berbeda sehingga dapat diketahui merek dan jenis semen yang memiliki kualitas lebih baik dalam mengikat senyawa pada metakaolin.
2. Disarankan melakukan pengujian lebih lanjut seperti uji kuat lentur beton maupun kuat tarik beton untuk mengetahui pengaruh metakaolin lebih lanjut.
3. Disarankan menambahkan variasi pengujian berdasarkan umur beton untuk mengetahui laju kenaikan maksimum maupun penurunan minimum dari beton.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tjokrodinuljo, K., 1992, Teknologi Beton, Alfiri, Yogyakarta.
- [2] Wibowo, W., Mediyanto, A., & Syaufina, T. R., 2019, Kajian Kuat Tarik Belah pada Beton Mutu Tinggi Memadat Mandiri dengan Variasi Komposisi Metakaolin dan *Superplasticizer Masterease 3029*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Surakarta, Solo.
- [3] Sivrastava et al., 2012, *investigated the suitability of silica fume and metakaolin combination in no-fines concrete*, Allahabad, India.
- [4] Justice, 2005, *evaluation of metakaolins for use as supplementary cementitious materials*. Georgia Institute of Technology April, 2005, Georgia.
- [5] Wibowo, W., Safitri, E., & Fatoni, L., F., 2018, Kajian Pengaruh Variasi Metakaolin Terhadap Parameter Beton Memadat Mandiri

Mutu Tinggi. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Surakarta, Solo.

[6] Nugraha, Y., 2015, Variasi Penambahan *Silica Fume* pada Beton Mutu Tinggi, Jurusan Pendidikan Teknik Sipil, Universitas Pendidikan Indonesia, Depok.