

**LEMBAR**

**HASIL PENILAIAN SEJAWAT SEBIDANG ATAU PEER REVIEW  
KARYA ILMIAH : JURNAL ILMIAH**

Judul karya ilmiah (artikel) : PENGARUH PENAMBAHAN METAKAOLIN (AL<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>) DAN LIMBAH SERAT DAUN TEMBAKAU PADA KUAT TEKAN BETON

Penulis Jurnal Ilmiah : **Algazt Aryad Masagala, S.T., M.Eng.**; Ali Al Iman

Identitas Jurnal Ilmiah :

- a. Nama Jurnal : Jurnal Renovasi
- b. Nomor ISSN : E-ISSN: 2961-9599; P-ISSN: 2443-3187
- c. Volume, Nomor, Bulan, Tahun : Vol. 7, No. 2, Bulan Oktober, Tahun 2022
- d. Penerbit : Univeristas Sarjanawiata Tamansiswa
- e. DOI Artikel : -
- f. URL Dokumen : <https://jurnal.ustjogja.ac.id/index.php/renovasi/article/view/8369>
- g. Terindeks di : Google Scholar, Garuda

Kategori Publikasi Jurnal Ilmiah :  Jurnal Ilmiah Internasional / internasional bereputasi  
 Jurnal Ilmiah Nasional Terakreditasi  
 Jurnal Ilmiah Nasional

Hasil Penilaian Peer Review :

Komponen Yang Dinilai	Nilai Maksimal Jurnal Ilmiah					Nilai Akhir Yang Diperoleh
	Internasional Bereputasi <input type="checkbox"/>	Internasional <input type="checkbox"/>	Nasional Terakreditasi <input type="checkbox"/>	Nasional Tidak Terakreditasi <input type="checkbox"/>	Nasional Terindeks DOAJ <input type="checkbox"/>	
Kelengkapan dan Kesesuaian unsur isi jurnal (10%)				1,00		0,5
Ruang lingkup dan kedalaman pembahasan (30%)				3,00		2,5
Kecukupan dan kemutakhiran data/ informasi dan metodologi (30%)				3,00		2,5
Kelengkapan unsur dan kualitas penerbit (30%)				3,00		2,5
<b>Total = 100%</b>				10,00		8
<b>Kontribusi Pengusul (Penulis Tunggal)</b>				6,00		4,8 (60%)
<b>KOMENTAR PEER REVIEW</b>	1. Tentang kelengkapan unsur isi buku ..... <i>Cukup</i> 2. Tentang ruang lingkup dan kedalaman pembahasan ..... <i>Cukup mendalam</i> 3. Tentang kecukupan dan kemutakhiran data/informasi dan metodologi..... <i>Sangat baik</i> 4. Tentang Kelengkapan unsur dan kualitas penerbit..... <i>baik, jurnal telah terakreditasi</i>					

Yogyakarta, 05 Desember 2022  
Reviewer 1,

(Ir. Danny Setiawan, S.T., M.Sc.)  
NIK. 110517102

Jabatan Fungsional: Lektor 300

Unit kerja: Prodi Teknik Sipil, Fakultas Sains & Teknologi,  
Universitas Teknologi Yogyakarta

**LEMBAR**

**HASIL PENILAIAN SEJAWAT SEBIDANG ATAU PEER REVIEW  
KARYA ILMIAH : JURNAL ILMIAH**

Judul karya ilmiah (artikel) : PENGARUH PENAMBAHAN METAKAOLIN ( $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ) DAN LIMBAH SERAT DAUN TEMBAKAU PADA KUAT TEKAN BETON

Penulis Jurnal Ilmiah : Algazt Aryad Masagala, S.T., M.Eng.; Ali Al Iman

Identitas Jurnal Ilmiah :

- a. Nama Jurnal : Jurnal Renovasi
- b. Nomor ISSN : E-ISSN: 2961-9599; P-ISSN: 2443-3187
- c. Volume, Nomor, Bulan, Tahun : Vol. 7, No. 2, Bulan Oktober, Tahun 2022
- d. Penerbit : Univeristas Sarjanawiata Tamansiswa
- e. DOI Artikel : -
- f. URL Dokumen :

<https://jurnal.ustjogja.ac.id/index.php/renovasi/article/view/8369>

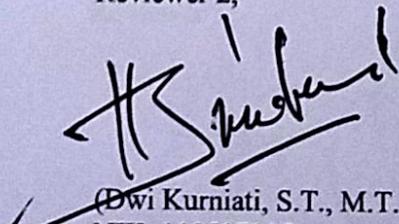
g. Terindeks di : Google Scholar, Garuda

Kategori Publikasi Jurnal Ilmiah :  Jurnal Ilmiah Internasional / internasional bereputasi  
 Jurnal Ilmiah Nasional Terakreditasi  
 Jurnal Ilmiah Nasional

Hasil Penilaian Peer Review :

Komponen Yang Dinilai	Nilai Maksimal Jurnal Ilmiah					Nilai Akhir Yang Diperoleh
	Internasional Bereputasi <input type="checkbox"/>	Internasional <input type="checkbox"/>	Nasional Terakreditasi <input type="checkbox"/>	Nasional Tidak Terakreditasi <input type="checkbox"/>	Nasional Terindeks DOAJ <input type="checkbox"/>	
Kelengkapan dan Kesesuaian unsur isi jurnal (10%)				1,00		1
Ruang lingkup dan kedalaman pembahasan (30%)				3,00		2,5
Kecukupan dan kemutakhiran data/ informasi dan metodologi (30%)				3,00		2,5
Kelengkapan unsur dan kualitas penerbit (30%)				3,00		2
<b>Total = 100%</b>				10,00		
<b>Kontribusi Pengusul (Penulis Tunggal)</b>				6,00		<b>4,8</b> (60%)
<b>KOMENTAR PEER REVIEW</b>	1. Tentang kelengkapan unsur isi buku ..... <i>Kelengkapan isi jurnal telah sesuai</i> 2. Tentang ruang lingkup dan kedalaman pembahasan ..... <i>Ruang lingkup dan kedalaman pembahasan cukup dan lengkap</i> 3. Tentang kecukupan dan kemutakhiran data/informasi dan metodologi ..... <i>Kemutakhiran dan metodologi cukupnya telah sesuai dengan update penelitian</i> 4. Tentang Kelengkapan unsur dan kualitas penerbit..... <i>Masih perlu diteliti</i>					

Yogyakarta, 05 Desember 2022  
Reviewer 2,



(Dwi Kurniati, S.T., M.T.)

NIK. 110517115

Jabatan Fungsional: Lektor 300

Unit kerja: Prodi Teknik Sipil, Fakultas Sains & Teknologi,  
Universitas Teknologi Yogyakarta

## PENGARUH PENAMBAHAN METAKAOLIN ( $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ) DAN LIMBAH SERAT DAUN TEMBAKAU PADA KUAT TEKAN BETON

Ali Al Iman<sup>1</sup>, Algazt Aryad Masagala<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Teknologi Yogyakarta

\*corresponding author : [algazt.masagala@uty.ac.id](mailto:algazt.masagala@uty.ac.id)

### Abstrak

Penelitian ini mencoba memanfaatkan limbah serat daun Tembakau dan metakaolin untuk bahan tambah pada beton sebagai upaya meningkatkan nilai tambah dari bahan limbah. Metakaolin mengandung banyak unsur  $SiO_2$  dan  $Al_2O_3$  yang merupakan unsur utama semen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggantian semen dengan metakaolin ( $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ) dan limbah serat daun tembakau sebagai serat pengikat agregat terhadap kuat tekan beton dan nilai slump. Substitusi semen dengan metakaolin dilakukan bervariasi sebanyak 13%, 14%, 15%, dan 16% dari berat semen. Benda uji silinder ukuran tinggi 30 cm dan diameter 15 cm dengan mutu beton yang rencana 25 MPa dibuat sebanyak 15 benda uji. Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Universitas Teknologi Yogyakarta dan pengujian dilakukan pada Batching plat PT. Pioner Beton Yogyakarta saat umur beton 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan mendapatkan nilai kuat tekan beton normal sebesar 25.27 MPa. Sedangkan untuk beton dengan variasi metakaolin 13%, 14%, 15%, dan 16% memperoleh kuat tekan berturut-turut sebesar 30.93 MPa; 29.04 MPa; 27.16 MPa; dan 24.52 MPa. Kuat tekan tertinggi terjadi pada variasi metakaolin 13% dan limbah serat daun tembakau 5% sebesar 30.93 MPa. Kuat tekan terendah terjadi pada variasi metakaolin 16% dan limbah serat daun tembakau 5% sebesar 24.52 MPa. Secara umum, terjadi penurunan nilai slump pada beton dengan substitusi metakaolin.

**Kata kunci** : metakaolin, serat tembakau, *slump*, kuat tekan

Received : 22 Agustus 2022

Accepted : 10 September 2022

Available online : 4 Desember 2022



This is an open access article under the CC-BY license

### 1. PENDAHULUAN

Beton merupakan material konstruksi yang sudah sangat umum digunakan dan merupakan salah satu unsur yang memiliki peran sangat penting dalam konstruksi bangunan. Fungsi utama beton sebagai salah satu pembentuk struktur mempunyai banyak keunggulan apabila dibandingkan dengan baja profil, diantaranya mudah didapatkan, pembuatannya relatif mudah, dan harganya cenderung lebih murah dibandingkan baja profil. Namun demikian, sejalan

dengan melambungnya harga bahan utama pembuatan beton yaitu semen, maka semakin mahal pula pembuatan beton. Mahalnya biaya pembuatan beton menjadi suatu pokok permasalahan yang perlu dipecahkan bersama guna membantu perkembangan teknologi di bidang konstruksi. Atas dasar permasalahan tersebut penelitian ini mencoba untuk melakukan substitusi semen dengan bahan metakaolin yang dikombinasikan dengan limbah serat Tembakau sebagai bahan tambah. Diharapkan dengan substitusi semen menggunakan

metakaolin, diperoleh beton dengan mutu yang baik, setidaknya setara dengan beton tanpa substitusi semen.

Metakaolin adalah senyawa tanah yang di kalsinasi dengan suhu tinggi dan secara umum digunakan sebagai salah satu campuran untuk bahan kosmetik serta sebagai bahan pembuatan keramik. Metakaolin sendiri memiliki unsur SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang merupakan unsur utama pembangun semen (Tabel 1) [1].

**Tabel 1.** Unsur semen [1]

Oksida	Persen (%)
Kapur, CaO	60 – 65
Silika, SiO <sub>2</sub>	17 – 25
Alumina, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 – 8
Besi, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5 – 6
Magnesia, MgO	0.5 – 4
Sulfur, SO <sub>3</sub>	1 – 2
Soda/Potash, Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	0.5 – 1

Sifat dari metakaolin ini sendiri adalah pozzolan dan merupakan massa batuan yang tersusun dari material lempung yang berwarna putih atau agak keputihan dengan kandungan besi yang rendah. Kaolin terbentuk dari hidrasi alumunium silikat dengan komposisi kimia (Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>) dengan disertai beberapa material penyerta. Sifat-sifat fisik yang dimiliki oleh metakaolin umumnya adalah berwarna putih, kekasaran 2-2.5; berat jenis 2.60-2.63; indeks bias 1.56; titik lebur mencapai 1850 °C; plastis; dan daya hantar panas dan listrik rendah. Metakaolin memiliki reaksi *ball effect* dan *filler effect*. *Ball effect* adalah dimana partikel metakaolin yang lebih kecil dari semen bertindak sebagai pelicin antara seluruh komponen penyusun beton seperti semen, pasir, dan kerikil. *Filler effect* adalah proses pengisian rongga-rongga kosong yang terdapat pada campuran beton [2].

Beberapa penelitian terdahulu telah meneliti tentang aplikasi metakaolin pada pembuatan beton. Riansyam [3] melakukan penelitian pemanfaatan Kalsinasi Kaolin (Metakaolin) sebagai substitusi semen dengan bahan tambah superplasticizer. Penelitian tersebut memanfaatkan jenis kaolin murni yang biasa di gunakan untuk bahan kosmetik serta pembuatan lantai keramik dengan kombinasi superplatiziser. Wibowo & Akhmad [4] melakukan kajian terhadap kuat tekan beton mutu tinggi

memadat mandiri (SCC) dengan variasi bahan tambah metakaolin dan superplasticizer. Pada penelitian tersebut dilakukan tidak dilakukan penambahan sika visocrete 1003 serta pada variasi penambahan metakaolin sebagai pengganti semen sebanyak 13%, 14%, 15%, dan 16%. Gusneli dkk. [5] melakukan kajian pemanfaatan limbah serat daun nanas pada kuat tekan dan kuat lentur beton. Pada penelitian tersebut memanfaatkan tambahan limbah berupa serat berukuran panjang 5-10 cm sebanyak 5%.

Berdasarkan latar belakang dan peneltian terdahulu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar optimum bahan tambah metakaolin (Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>) dan limbah serat daun tembakau serta mengamati pengaruh bahan tambah tersebut pada nilai slump dan kuat tekan beton.

## 2. METODE PENELITIAN

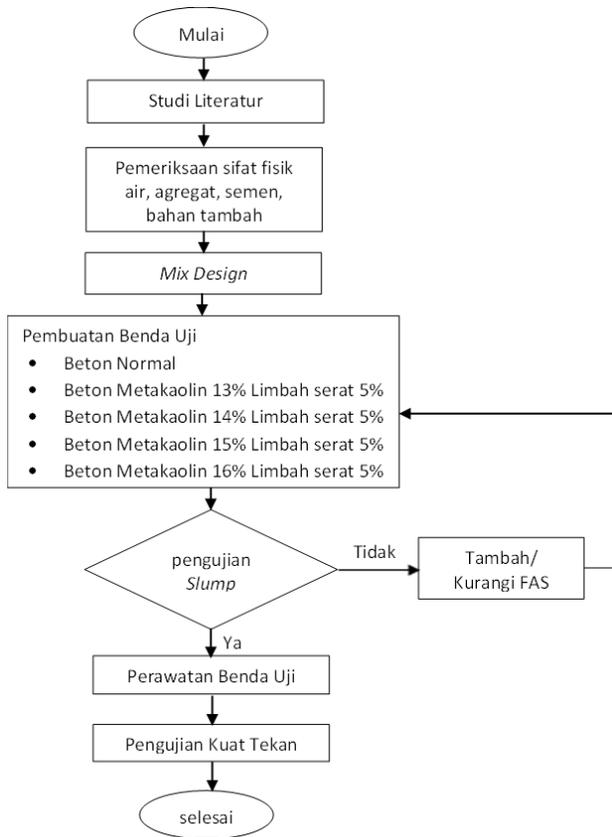
Penelitian mengenai pengaruh penggunaan metakaolin sebagai penganti semen dan limbah serat daun tembakau 5% pada kuat tekan beton ini dilakukan secara eksperimental, penelitian tersebut dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Universitas Teknologi Yogyakarta. Penelitian dilakukan dengan membuat benda uji metakaolin variasi 13%, 14%, 15%, dan 16% sebagai penganti semen dengan tambahan limbah serat daun tembakau 5% sebgai serat penguat lekatan antar agregat dalam setiap variasi. Benda uji yang dibuat berbentuk silinder ukuran tinggi 30 cm dan diameter 15 cm dengan mutu beton yang direncanakan 25 MPa. Jumlah benda uji sebanyak 15 benda uji, beton normal dan beton variasi memiliki 3 buah benda uji sebagai perbandingan.

Pengujian dilakukan menggunakan beton berbentuk silinder dengan tinggi 300 mm serta diameter 150 mm. Sketsa beton dapat dilihat pada Gambar 3.7 Sketsa benda uji kuat tekan beton. Cara menentukan kuat tekan beton menurut SNI 03-2834-2000 [6], dapat dilihat pada Persamaan 1.

$$f'c = \frac{P}{A} \tag{1}$$

Dengan :

- $f'c$  : Kuat tekan beton (N/mm<sup>2</sup>)
- P : Gaya tekan aksial (N)
- A : Luas penampang melintang benda uji (mm<sup>2</sup>)



**Gambar 1.** Bagan alir penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini disajikan dalam Gambar 1. Proses diawali dengan studi literatur untuk menentukan rencana awal mix desain campuran beton yang diikuti dengan persiapan alat dan bahan penyusun beton. Pengujian sifat fisik material dilakukan untuk dilanjutkan dengan analisis mix desain campuran beton. Setelah mix desain beton diketahui, proses pembuatan campuran beton dimulai.

Air, agregat kasar, agregat halus, dan semen dengan campuran metakaolin dimasukkan kedalam mesin mixer. Pada saat mesin yang di putar memasukan serat limbah serat tembakau sebanyak 5% sesuai dengan takaran yang telah ditentukan. Kemudian menunggu hingga adukan tercampur merata setidaknya selama  $\pm 3$  menit. Selanjutnya, campuran adukan beton dari dalam molen dituang ke nampan adukan beton untuk diukur nilai slump. Apabila nilai slump yang didapat dari pengujian slump tidak sesuai dengan yang telah direncanakan, adukan beton kembali dimasukkan kedalam molen untuk dilakukan penyesuaian penambahan air, dan apabila adukan semen mendapatkan nilai slump lebih dari

nilai yang di tentukan maka melakukan penggantian campuran adukan beton. Setelah mendapatkan nilai slump yang sesuai dengan yang direncanakan, kemudian memasukan adukan beton kedalam bekisting atau cetakan beton silinder. Adukan beton yang sudah dimasukan kedalam bekisting atau cetakan silinder disimpan selama  $\pm 24$  jam sebelum dilakukan pembongkaran cetakan beton. Proses curing beton dilakukan selama waktu yang ditentukan yaitu 28 hari. Langkah terakhir adalah pengujian kuat tekan beton setelah masa curing selesai.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pemeriksaan Sifat Fisik Material

**Tabel 2.** Pengujian fisik material

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar
Kadar lumpur	2%	< 5%
Zat organis	No. 8	< no. 11
SSD pasir	basah	kering
Berat jenis pasir	2.34	2.4 – 2.9
Berat jenis kerikil	2.36	2.4 – 2.9
MHB pasir	3.02	1.5 – 3.8
MHB kerikil	6.29	5 – 8
Berat satuan pasir ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	1.75	> 1.2
Berat satuan kerikil ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	1.45	> 1.2

Pengujian yang dilakukan terhadap agregat, baik agregat kasar maupun agregat halus meliputi pemeriksaan zat organis dalam pasir, kadar lumpur dalam pasir, SSD pasir, berat jenis kerikil, berat jenis pasir, MHB kerikil dan pasir, serta berat satuan agregat kasar dan berat satuan agregat halus. Hasil yang didapat dapat dilihat pada Tabel 2. Secara umum, hasil pada tabel 2 memperlihatkan bahwa agregat memiliki nilai yang memenuhi persyaratan material. Dari aspek kadar lumpur dan zat organis, material memiliki zat pengotor yang minimal. Berat jenis pasir dan kerikil dibawah standar, tetapi selisihnya tidak banyak. Nilai MHB memenuhi standar persyaratan yang menandakan bahwa nilai gradasi pasir dan agregat memenuhi kriteria untuk material beton.

#### 3.2 Rancangan Campuran Beton (Mix Desain)

Perencanaan campuran beton dilakukan menggunakan metode SNI 03-2834-2000 dengan hasil mix desain disajikan pada Tabel 3. Hasil perhitungan mix desain menggunakan kuat tekan target sebesar 25 Mpa dengan margin nilai kuat tekan 8.3 MPa. Hasil analisis mix desain memperoleh nilai kebutuhan material (per m<sup>3</sup>) semen sebesar 385 kg, pasir 619 kg, kerikil 1037 kg dan air 185 liter.

**Tabel 3.** Mix desain campuran beton

Parameter	Nilai
Kuat tekan target ( <i>f'c</i> )	25 MPa
Nilai tambah margin ( <i>m</i> )	8.3 MPa
Kuat tekan rata perlu ( <i>f'cr</i> )	33.3 MPa
Jenis semen	Portland tipe 1
Faktor air semen (FAS)	0.48
Nilai <i>slump</i> rencana	100 mm
Ukuran maks agregat	40 mm
Jenis Pasir yang di gunakan	Pasir SSD
Proporsi agregat halus dan kasar terhadap agregat campuran	40% : 60%
Perkiraan berat beton /m <sup>3</sup>	2300 kg/m <sup>3</sup>
Kebutuhan semen/m <sup>3</sup>	385.21 kg/m <sup>3</sup>
Kebutuhan pasir /m <sup>3</sup>	619.95 kg/m <sup>3</sup>
Kebutuhan kerikil /m <sup>3</sup>	1037.94 kg/m <sup>3</sup>
Kebutuhan air /m <sup>3</sup>	185 liter

### 3.3 Pengujian Slump Campuran Beton Segar

**Tabel 4.** Hasil uji slump

Kode Benda Uji	Nilai <i>Slump</i>
Silinder Beton Normal	10.1 cm
Silinder MT 13% TM 5%	9.7 cm
Silinder MT 14% TM 5%	9.7 cm
Silinder MT 15% TM 5%	9.5 cm

Tabel 4 menyajikan hasil pengujian slump atau kelecakan campuran beton segar. Nilai uji slump merupakan nilai kelecakan pada sebuah benda uji beton dapat diketahui dalam pengecekan atau pengujian slump. Nilai uji slump dapat digunakan untuk mengetahui *workability* (kelecakan dalam pengerjaan beton). Pembuatan benda uji penentuan nilai slump yang dilakukan mengacu pada SNI 03-2834-2000 [6].

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai slump masih dalam batas nilai perencanaan yaitu ±2 cm dari nilai perencanaan 10 cm. Nilai slump dalam pembuatan benda uji silinder ini mengalami penurunan berkala

pada saat dilakukan penambahan bahan tambah metakaolin serta serat limbah daun tembakau. Semakin tinggi kadar metakaolin yang ditambahkan kepada beton uji semakin turun nilai slump. Penurunan dari nilai slump ini sendiri dikarenakan penambahan bahan tambah dari metakaolin sendiri yang memiliki butiran yang lebih lembut daripada semen dan reaksi *ball effect* metakaolin yang menyebabkan butiran agregat menjadi lebih licin.

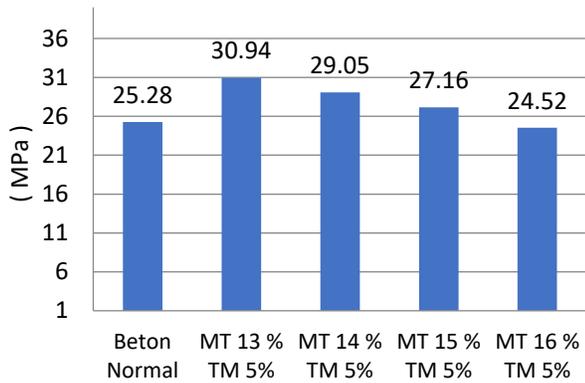
### 3.4 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat desak beton dilakukan pada saat beton mencapai umur 28 hari. Kuat tekan beton dihitung menggunakan persamaan (1). Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 2 berikut.

**Tabel 5.** Hasil uji tekan beton

Jenis Beton	Berat (kg)	Beban (N)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata
Beton Normal	12.3	4400	24.9	25.27
	12.5	4600	26.03	
	12.4	4400	24.9	
MT 13 % TM 5%	12.8	5600	31.69	30.93
	12.6	5400	30.56	
	12.5	5400	30.56	
MT 14 % TM 5%	12.6	5200	29.43	29.04
	12.5	5200	29.43	
	12.5	5000	28.29	
MT 15 % TM 5%	12.3	5100	28.86	27.16
	12.6	4700	26.6	
	12.4	4600	26.03	
MT 16 % TM 5%	12.5	4400	24.9	24.52
	12.2	4500	25.46	
	12.5	4100	23.2	

Dari hasil pengujian kuat tekan diatas dapat disimpulkan bahwa kuat tekan dengan persentase 13% merupakan titik optimum dengan presentase peningkatan sebesar 22.38 %. Sedangkan kuat tekan terendah diperoleh pada presentase 16% dengan presentase penurunan sebesar 2.98%. Penambahan metakaolin dapat meningkatkan kepadatan beteton yang dapat meningkatkan kekuatan beton melalui reaksi *ball bearing effect* dan *filler effect*.



**Gambar 2.** Perbandingan hasil uji tekan

*Ball bearing effect* adalah dimana partikel metakaolin yang lebih kecil dari semen bertindak sebagai pelicin antara seluruh komponen-komponen penyusun beton yang mengakibatkan bergesernya komponen pada bagian atas campuran ke bawah campuran dengan bantuan gravitasi. *Filler effect* atau proses pengisian rongga kosong yang terdapat pada campuran beton. Sedangkan limbah tembakau dengan sifat seratnya mampu mengikat agregat beton sehingga dapat meningkatkan kuat tekan dari beton. Namun dengan semakin banyak penggunaan metakaolin dapat menyebabkan reaksi yang diberikan oleh semen berkurang dan menyebabkan penurunan kuat tekan pada beton.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan diantaranya :

- a. Penambahan metakolin dan serat tembakau menghasilkan kenaikan kuat tekan beton pada kadar metakolin sebanyak 13%, 14%, 15%, dan serat daun tembakau 5%. Kadar optimum berada pada campuran metakaolin 13% dan serat daun tembakau 5% dan menghasilkan kuat tekan sebesar 30.93 Mpa. Relatif terhadap beton normal, kenaikan kuat tekan pada campuran optimum diketahui sebesar 22.38%.
- b. Hasil dari pengujian slump yang telah dilakukan memperoleh nilai slump yang sesuai dengan mix design sebesar  $10 \pm 1$  cm. Beton normal

menghasilkan slump sebesar 10.1 cm. sedangkan untuk variasi dari 13% sampai 16% menghasilkan nilai slump sebesar 9.7 cm, 9.7 cm, 9.5 cm, dan 9.4 cm secara berurutan

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Tjokrodimulyo, 2009, *Teknologi Beton*, Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada.
- [2] Sukandarrumidi, 1999, *Bahan Galian Industri*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [3] AB Riansyam, 2017, *Pemanfaatan Kalsinasi Kaolin (Metakaolin) Sebagai Substitusi Sebagian Semen dengan Bahan Tambah Superplasticizer Terhadap Sifat Mekanik Beton*, Universitas Sumatera Utara
- [4] Wibowo, dan A. Akhmad, 2018, *Kajian Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Memadat Mandiri Dengan Variasi Bahan Tambah Metakaolin dan Superplasticizer*, Universitas Sebelas Maret.
- [5] Y. Gusneli, Zainiri, S. W. Megasari, 2019, *Kajian Pemanfaatan Limbah Serat Daun Nanas Pada Kuat Tekan dan Kuat Lentur*, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- [6] Badan Standarisasi Nasional, 2000, SNI 03-2834-2000 *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, Bandung: Badan Standarisasi Nasional.