

# KAJIAN KUAT TARIK BELAH PADA BETON MUTU TINGGI MEMADAT MANDIRI DENGAN VARIASI KOMPOSISI METAKAOLIN DAN SUPERPLASTICIZER MASTEREASE 3029

Wibowo<sup>1</sup>, Antonius Mediyanto<sup>2</sup>, dan Tengku Reiva Syaufina<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Pengajar Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

<sup>2</sup> Pengajar Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

<sup>3</sup> Mahasiswa Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: [tengkureiva31@gmail.com](mailto:tengkureiva31@gmail.com)

## Abstract

*These days, high strength self compacting concrete (HSSCC) is commonly needed in construction sector for its high compressive strength and the easiness of the execution in field in which this kind of concrete can flow and compact itself without using vibrator. Concrete is known to have a high compressive strength yet low tensile strength. In this research, metakaolin is used as a substitute of Portland cement to increase the split tensile strength of HSSCC. This research oriented on studying the effect of metakaolin addition on the workability and split tensile strength of HSSCC. The compositions of metakaolin used are 12.5%, 15%, 17.5%, 20%, and 22.5% of binder weight. The specimen used are cylinders with the diameter of 75 mm and height of 150 mm, three specimens for each metakaolin composition. Based on the result, the addition of metakaolin decreases the workability of concrete known by the slump flow, L-box, and V-funnel test done on the fresh concrete, but the result still meet the standard of self compacting concrete based on EFNARC 2002. For the split tensile strength, the addition of metakaolin increases the split tensile strength of concrete and the maximum value is reached at the composition of 20% metakaolin.*

**Keywords:** High strength self compacting concrete, metakaolin, split tensile strength, workability.

## Abstrak

Dewasa ini, beton mutu tinggi memadat mandiri (HSSCC) semakin dibutuhkan di dunia konstruksi karena kuat tekannya yang tinggi dan kemudahan dalam pelaksanaan di lapangan dimana beton jenis ini dapat mengalir dan memadat mandiri tanpa bantuan alat penggetar. Beton diketahui memiliki kuat tekan yang tinggi namun kuat tariknya rendah. Pada penelitian ini, metakaolin digunakan sebagai pengganti semen Portland untuk meningkatkan kuat tarik belah pada HSSCC. Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh penambahan metakaolin terhadap workabilitas dan kuat tarik belah HSSCC. Kadar metakaolin yang digunakan adalah 12.5%, 15%, 17.5%, 20%, dan 22.5% dari berat *binder*. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 75 mm dan tinggi 150 mm, tiga buah benda uji untuk masing-masing kadar metakaolin. Berdasarkan hasil penelitian, penambahan metakaolin menurunkan workabilitas beton, diketahui dari pengujian *slump flow*, *L-box*, dan *V-funnel* yg dilakukan pada beton segar, namun hasil uji tersebut masih memenuhi standar beton memadat mandiri yang tercantum pada EFNARC 2002. Pada kuat tarik belahnya, penambahan metakaolin meningkatkan nilai kuat tarik belah beton dan nilai maksimum dicapai pada kadar metakaolin 20%.

**Kata Kunci:** Beton mutu tinggi memadat mandiri, kuat tarik belah, metakaolin, workabilitas.

## PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan pembangunan konstruksi menuntut hasil kerja yang lebih baik serta lebih efisien. Inovasi-inovasi baru pun muncul dalam hal perancangan serta pembuatan beton sebagai material konstruksi yang paling sering digunakan. Salah satu dari inovasi tersebut ialah beton mutu tinggi memadat mandiri. Beton jenis ini semakin banyak digunakan akhir-akhir ini.

Peningkatan kinerja pada beton selalu dibutuhkan untuk memperoleh beton dengan kualitas baik. Upaya meningkatkan kinerja beton untuk dapat dilakukan dengan memberikan bahan tambah (*admixture*) yang bersifat pozzolan. Pada penelitian ini, bahan tambah pozzolan yang digunakan adalah metakaolin. Mengacu pada penelitian sebelumnya, pada penelitian ini metakaolin ditambahkan sebagai bahan pengganti semen karena sifatnya sebagai pozzolan yang akan bereaksi dengan proses hidrasi semen dan partikelnya yang berukuran kecil sebagai pengisi pori-pori beton digunakan untuk meningkatkan kualitas beton mutu tinggi memadat mandiri.

Hal yang dikaji pada penelitian ini ialah pengaruh penambahan metakaolin terhadap workabilitas dan kuat tarik belah beton mutu tinggi memadat mandiri. Beton diketahui memiliki kuat tekan yang tinggi namun kuat tariknya rendah. Untuk itu perlu dilakukan suatu inovasi berupa pemberian bahan tambah dengan tujuan meningkatkan kuat tarik beton. Mengetahui nilai kuat tarik pada beton dapat dilakukan dengan melakukan pendekatan yaitu dengan pengujian kuat tarik belah. Hal ini dilakukan karena pengujian kuat tarik langsung sulit untuk dilakukan karena sulitnya set-up alat serta sulitnya melakukan pelaksanaan yang tepat saat pengujian. (Faez, et al., 2016)

Penambahan variasi metakaolin pada campuran beton mutu tinggi meningkatkan kuat tarik belah beton bila dibandingkan dengan beton tanpa metakaolin. Dalam campuran ini, nilai kuat tarik belah beton maksimum terjadi saat penambahan variasi metakaolin kadar 22,5%. (Nur'arina, 2018)

Beton mutu tinggi (*high strength concrete*) didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan yang disyaratkan lebih besar sama dengan 41,4 MPa. (SNI 03- 6468-2000)

Beton memadat mandiri (*self compacting concrete*) adalah beton yang mampu mengalir sendiri yang dapat di cetak pada bekisting dengan tingkat penggunaan alat pemadat yang sangat sedikit atau bahkan tidak di padatkan sama sekali. Beton ini di campur dengan memanfaatkan pengaturan ukuran agregat, porsi agregat dan *superplastisizer* untuk mencapai kekentalan khusus yang memungkinkannya mengalir sendiri tanpa bantuan alat pemadat. (Ludwig, H-M., et al, 2015)

Sambowo (2002) menjelaskan metakaolin merupakan hasil pembakaran (kalsinasi) kaolin yang dipanaskan pada suhu 600 – 900°C. Ukuran partikel metakolin lebih kecil dari *silica fume* dan banyak mengandung SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang merupakan unsur utama semen yang menjadikan metakaolin dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen. Ukuran rata-rata partikel metakaolin lebih kecil daripada partikel semen sehingga dapat bekerja mengisi ruang antar butiran semen yang secara fisik memperkuat ikatan antar partikel. Metakaolin bereaksi secara optimal dengan kristal kalsium hidroksida (sisa proses hidrasi) menjadi kalsium silikat (bahan perekat beton) dan kalsium aluminat hidrat

Kuat tarik belah merupakan nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji (SNI-03-2491-2002). Menurut Dipohusodo (1999) hubungan kuat tarik belah dengan kuat tekan mempunyai nilai pendekatan dari hasil pengujian berulang kali mencapai 0,50 – 0,6  $\sqrt{f_c}$ .

Rumus perhitungan kuat tarik belah berdasarkan SNI-03-2491-2002 dapat dilihat dalam persamaan berikut :

$$f't = \frac{2P}{\pi LD} \dots\dots\dots [1]$$

keterangan :

- f't = kuat tarik belah beton (MPa)
- P = beban uji maksimum (N)
- L = panjang benda uji (mm)
- D = diameter benda uji (mm)

Campuran beton yang mengandung metakaolin, meningkat nilai kuat tekan, kuat tarik belah, serta kuat lenturnya, begitupula dengan modulus elastisitasnya, apabila dibandingkan dengan beton control (Justice, J.M., dkk, 2005). Pada penelitian Nur'arina (2018) penambahan variasi metakaolin pada campuran beton mutu tinggi meningkatkan kuat tarik belah beton bila dibandingkan dengan beton tanpa metakaolin. Dalam campuran ini, nilai kuat tarik belah beton maksimum terjadi saat penambahan variasi metakaolin kadar 22,5%.

Luth (2018) menjelaskan bahwa semakin tinggi penggunaan metakaolin sebagai bahan tambah beton, semakin tinggi pula kekentalan yang semakin tinggi pula kekentalan beton yang dihasilkan. Hal tersebut menyebabkan campuran beton memadat mandiri semakin menjauhi standar *passingability* dan *fillingability* yang ditetapkan oleh EFNARC 2002.

## METODE

Metode yang digunakan adalah eksperimental, mengkaji workabilitas (*filling ability*, *passing ability*, dan *segregation resistance*) serta kuat tarik belah beton mutu tinggi memadat mandiri dengan variasi komposisi metakaolin sebagai pengganti semen. Pengujian workabilitas dilakukan pada beton segar dengan melakukan uji *slump flow*, *L-box*, dan *V-funnel*. Sedangkan pengujian kuat tarik belah dilakukan pada beton silinder dengan diameter 75 mm dan tinggi 150 mm umur 28 hari. Beton yang dibuat dalam penelitian ialah beton dengan komposisi metakaolin 12,5%, 15%, 17,5%, 20%, dan 22,5%, serta beton 0% metakaolin sebagai kontrol. Jumlah benda uji yang dibuat ialah 3 benda uji untuk masing-masing kadar.

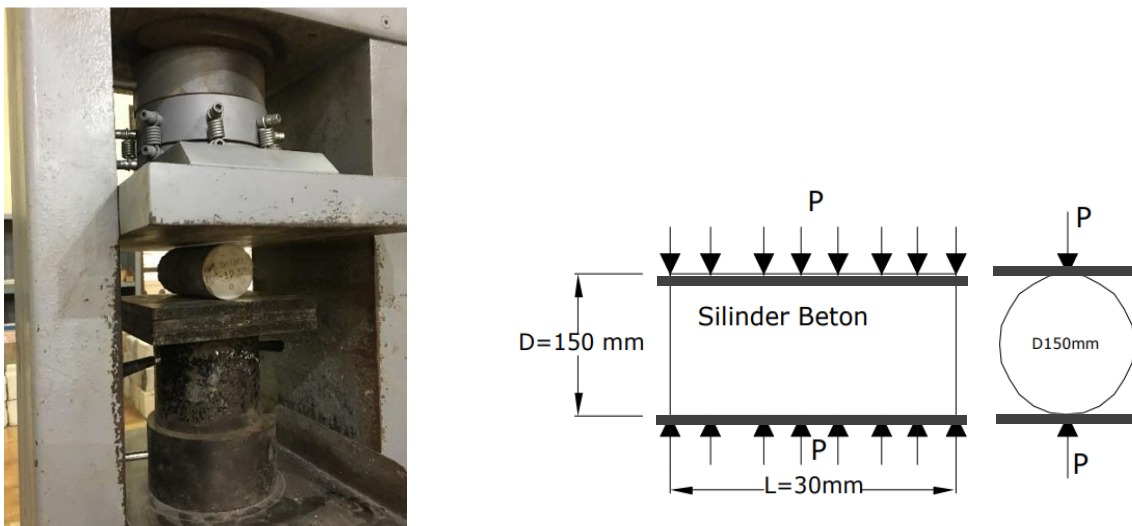
Agregat halus yang digunakan pada penelitian ialah pasir yang berasal dari Kulonprogo, Yogyakarta. Agregat kasar yang digunakan ialah kerikil dari Kulonprogo, Yogyakarta dengan ukuran maksimum 9,5 mm dan minimum 6,3

mm. Semen yang digunakan adalah *Ordinary Portland Cement* tipe I. Metakaolin yang digunakan berasal dari kaolin yang diambil dari Desa Semin, Gunung Kidul yang kemudian dibakar selama 6 jam pada suhu 700°C untuk memperoleh metakaolin. Pembakaran kaolin dilakukan di Studio Keramik Fakultas Seni Rupa dan Desain Universitas Sebelas Maret. *Superplasticizer* yang digunakan ialah BASF MasterEase 3029.

Agregat kasar dan agregat halus yang akan digunakan diuji terlebih dahulu kelayakannya. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret dan mengacu pada standar ASTM. Pengujian yang dilakukan terhadap agregat halus diantaranya pengujian kadar lumpur, *specific gravity*, gradasi, dan kandungan zat organik. Pengujian yang dilakukan terhadap agregat kasar ialah pengujian abrasi, *specific gravity*, dan gradasi. Metakaolin yang diperoleh dari pembakaran kaolin pun diuji kandungan senyawa kimianya dengan pengujian X-Ray Fluorescence yang dilakukan di Laboratorium Terpadu Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Beton yang sudah dibuat dan dikeluarkan dari cetakan di *curing* dengan cara direndam di air hingga berumur 21 hari, lalu dibiarkan di udara terbuka hingga umur beton 28 hari.

Pengujian kuat tarik belah dilakukan pada beton umur 28 hari dengan meletakkan benda uji pada mesin *Compression Testing Machine* (CTM) dengan posisi beton diletakkan secara horizontal atau direbahkan, dan berada tepat di tengah-tengah pelat penekan. Pembebanan dilakukan arah tegak lurus pada seluruh permukaan silinder perlahan-lahan secara kontinu sampai benda uji terbelah. Set-up pengujian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengujian kuat tarik belah

### Mix Design

*Mix design* yang digunakan dalam pembuatan beton pada penelitian ini mengacu pada EFNARC 2005 dengan faktor air semen 0,31 dan kadar superplasticizer 1,9%. Rekapitulasi *mix design* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi *mix design* beton

Benda Uji	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> )	Superplasticizer (lt/m <sup>3</sup> )	Air (lt/m <sup>3</sup> )
HSSCC-MK0	821,98	802,673	600,00	0,00	11,40	186,00
HSSCC-MK12.5	815,96	796,796	525,00	75,00	11,40	186,00
HSSCC MK-15	814,76	795,620	510,00	90,00	11,40	186,00
HSSCC MK-17.5	813,55	794,445	495,00	105,00	11,40	186,00
HSSCC MK-20	813,28	793,269	480,00	120,00	11,40	186,00
HSSCC MK-22.5	812,07	792,094	465,00	135,00	11,40	186,00

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan metakaolin terhadap workabilitas dan kuat tarik belah beton mutu tinggi memadat mandiri, diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Penambahan metakaolin mengurangi workabilitas beton yang diketahui dari semakin kecilnya diameter sebaran dan semakin lamanya waktu alir untuk mencapai diameter 500 mm pada uji *slump flow*, semakin mengecilnya nilai perbandingan  $h_2/h_1$  pada pengujian *L-box*, serta semakin lamanya waktu alir pada pengujian *V-funnel* seiring bertambahnya kadar metakaolin. Namun nilai nilai yang didapat dari hasil pengujian beton segar ini masih memenuhi standar yang ditetapkan dalam EFNARC 2002 sehingga masih bisa dikategorikan sebagai beton memadat mandiri. Hasil pengujian beton segar dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4.

Tabel 2. Hasil pengujian *slump flow*

Benda uji	T500 (detik)	Syarat	Keterangan	Drata-rata (mm)	Syarat	Keterangan
HSSCC-MK0	2,21		Memenuhi	755		Memenuhi
HSSCC-MK12.5	2,53		Memenuhi	750		Memenuhi
HSSCC MK-15	2,73	2-5 detik (EFNARC 2002)	Memenuhi	742,5	650-800 mm (EFNARC 2002)	Memenuhi
HSSCC MK-17.5	2,89		Memenuhi	740		Memenuhi
HSSCC MK-20	3,14		Memenuhi	735		Memenuhi
HSSCC MK-22.5	3,47		Memenuhi	715		Memenuhi

Tabel 3. Hasil pengujian *L-box*

Benda uji	h2 (mm)	h1 (mm)	h2/h1	Syarat	Keterangan
HSSCC-MK0	9	9,5	0,947		Memenuhi
HSSCC-MK12.5	8,5	9	0,944		Memenuhi
HSSCC MK-15	8,5	9	0,944	0,8 - 1 (EFNARC 2002)	Memenuhi
HSSCC MK-17.5	8	8,5	0,941		Memenuhi
HSSCC MK-20	8	9,5	0,842		Memenuhi
HSSCC MK-22.5	8	9,5	0,842		Memenuhi

Tabel 4. Hasil pengujian *V-funnel*

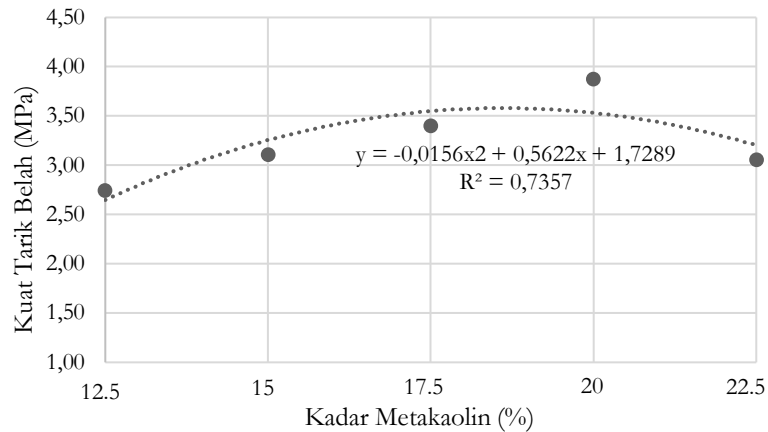
Benda uji	Waktu alir (detik)	Syarat	Keterangan
HSSCC-MK0	9		Memenuhi
HSSCC-MK12.5	8,5		Memenuhi
HSSCC MK-15	8,5	6 – 12 detik (EFNARC 2002)	Memenuhi
HSSCC MK-17.5	8		Memenuhi
HSSCC MK-20	8		Memenuhi
HSSCC MK-22.5	8		Memenuhi

2. Penambahan metakaolin pada campuran beton mutu tinggi memadat mandiri dapat menaikkan nilai kuat tarik belah dibandingkan dengan beton tanpa metakaolin. Dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 2 bahwa penambahan metakaolin yang dapat memberikan nilai kuat tarik maksimum adalah pada kadar metakaolin 20% dengan nilai kuat tarik belah 3,87 MPa dengan kenaikan sebesar 45,869% dibandingkan beton tanpa metakaolin, lalu pada kadar 22,5% nilai kuat tarik belah turun namun tetap lebih tinggi bila dibandingkan dengan kuat tarik belah pada beton tanpa metakaolin.

Tabel 5. Hasil pengujian kuat tarik belah

Benda uji	$f_t$ rerata (MPa)	Kenaikan (%)
HSSCC-MK0	2,66	-
HSSCC-MK12.5	2,75	3,407
HSSCC MK-15	3,11	16,961
HSSCC MK-17.5	3,40	28,171
HSSCC MK-20	3,87	45,869
HSSCC MK-22.5	3,06	15,048

## Grafik Kuat Tarik Belah



Gambar 2. Grafik nilai kuat tarik belah

Untuk mengetahui prosentase penambahan komposisi metakaolin yang optimum yang menghasilkan beton dengan kuat tarik belah maksimum digunakan persamaan regresi dari grafik sebagai berikut :

$$y = -0,0156 x^2 + 0,5622 x + 1,7289$$

Dideferensialkan sehingga didapat :

$$dy/dx = 0$$

$$2 (-0,0156)x + 0,5622 = 0$$

$$-0,0312 x + 0,5622 = 0$$

$$x = -0,5622 / -0,0312 = 18,02\%$$

Untuk mencari harga y, maka x dimasukkan ke persamaan kurva sebagai berikut :

$$y = -0,0156 x^2 + 0,5622 x + 1,7289$$

$$y = -0,0156 (18,02)^2 + 0,5622 (18,02) + 1,7289$$

$$y = 6,79 \text{ MPa}$$

Berdasarkan perhitungan dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa prosentase komposisi metakaolin terhadap kuat tarik belah beton yang optimal dicapai pada komposisi 18,02 % dengan kuat tarik belah beton yang optimum sebesar 6,79 MPa.

- Perbandingan nilai kuat tarik belah dengan nilai kuat tekan yang diperoleh pada penelitian ini sesuai dengan yang disebutkan oleh Dipohusodo (1999) yaitu dengan nilai berkisar  $0,50 - 0,6 \sqrt{f_c}$ . Hasil perbandingan kuat tarik belah dan kuat tekan pada penelitian dapat dilihat pada Tabel 6. Nilai kuat tekan diperoleh dari penelitian Sains (2019) dengan rancang campur yang sama.

Tabel 6. Perbandingan nilai kuat tarik belah dan kuat tekan

Benda uji	$f_t$ rerata (MPa)	$f_c$ rerata (Mpa)	$\sqrt{f_c}$ (Mpa)	K ( $f_t / \sqrt{f_c}$ )
HSSCC-MK0	2,66	46,798	5,43	0,49
HSSCC-MK12.5	2,75	50,094	5,93	0,50
HSSCC MK-15	3,11	51,601	6,22	0,50
HSSCC MK-17.5	3,40	56,699	6,67	0,51
HSSCC MK-20	3,87	51,977	6,45	0,60
HSSCC MK-22.5	3,06	45,1998	5,66	0,49

Keterangan :

$f_t$  = Kuat Tarik Belah Beton

$f_c$  = Kuat Tekan Beton

$\sqrt{f_c}$  = Akar Kuat Tekan Beton

K = Konstanta

## SIMPULAN

Penambahan metakaolin menurunkan workabilitas beton yang diketahui dari hasil pengujian *slump flow V-funnel*, dan *L-box*. Namun hasil pengujian masih menunjukkan bahwa beton pada penelitian ini masih memenuhi standar beton memadat mandiri menurut ERNARC 2002. Sedangkan kajian mengenai kuat tarik belah menunjukkan bahwa penambahan metakaolin meningkatkan nilai kuat tarik belah beton. Dari analisis regresi, diperoleh bahwa nilai kuat tarik belah optimum dicapai pada penambahan kadar metakaolin sebesar 18.02% dengan nilai kuat tarik belah 6,79 MPa.

## REKOMENDASI

1. 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. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya dengan umur beton di atas 28 hari untuk mengetahui reaksi pozzolanik metakaolin.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih pertama ditujukan kepada Allah SWT atas rahmat-Nya selama penelitian ini. Selanjutnya kepada Bapak Wibowo, S.T., DEA., dan Bapak Ir. Antonius Mediyanto, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini. Selain itu penulis juga berterimakasih kepada kedua orang tua yang selalu mendukung dan memotivasi, serta kepada staff / laboran Laboratorium Bahan Konstruksi dan Rekayasa Struktur Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta atas bantuannya, dan kepada rekan-rekan kelompok penelitian atas bantuan dan kerja samanya.

## REFERENSI

- Alhusainy, Faez, et al., 2016, "Direct Tensile Testing of Self Compacting Concrete", School of Civil, Mining, and Environmental Engineering of Wollongong, Australia.
- Anonim, 2000, "SNI 03-6468-2000 Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen Portland dan Abu Terbang", Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Anonim, 2002, "EFNARC Specification and Guidelines for Self Compacting Concrete".
- Anonim, 2002, "SNI 03-2491-2002 Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton", Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Ardini, Nur'arina, 2018, "Kajian Kuat Tarik Belah dan Kuat Lekat pada Beton Mutu Tinggi Memadat Mandiri dengan Variasi Komposisi Metakaolin", Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Fatoni, Luth Fian, 2018, "Kajian Pengaruh Variasi Faktor Air Semen dan Metakaolin Terhadap Parameter Beton Memadat Mandiri Mutu Tinggi", Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Istimawan, Dipohusodo, 1999, "Struktur Beton Bertulang", Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Justice, J.M., et al., 2005, "Comparison of Two Metakaolins and a Silica Fume Used as Supplementary Cementitious Materials", *Proc. Seventh International Symposium*, Washington D.C.
- Ludwig, H-M, et al., 2015, "The Mix Design For Self Compacting High Performance Concrete Containing Various Mineral Admixtures", F.A. Finger-Institute for Building Materials Science, Faculty of Civil Engineering, Bauhaus-University Weimar, Germany.
- Sambowo, Ir. Kusno Adi, 2002, "Engineering Properties and Durability Performance of Metakaolin and Metakaolin-PFA Concrete", The University of Sheffield, United Kingdom.

