

# Pengaruh Penggunaan Filler Serbuk Limbah Gerabah dan *Sika-Viscocrete 1003* pada Campuran Beton Mutu Tinggi

Retnowati Setioningsih<sup>a</sup>.

<sup>a</sup> Prodi Teknik Sipil, FTSP, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.

DOI: <https://doi.org/10.18196/bce.v3i1.18008>

Riwayat Artikel  
Diserahkan  
24 Desember 2022

Direvisi  
28 Januari 2023

Diterima  
3 Februari 2023

\*Penulis korespondensi  
rsetioningsih@itny.ac.id

## Abstrak

Limbah gerabah dapat dimanfaatkan sebagai pengganti *filler* atau pengisi pada beton. Untuk bisa memperoleh beton mutu tinggi yang memanfaatkan limbah gerabah, diperlukan campuran zat aditif, salah satu contohnya adalah *Sika-Viscocrete*. Tujuan utama yang dilakukan adalah memperoleh nilai optimum dari variasi campuran gerabah dan *Sika-Viscocrete*. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental laboratorium dengan membuat benda uji silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Benda uji dibuat mengacu  $f_c' = 50$  MPa, penambahan 10% limbah bubuk gerabah dari berat semen dan variasi *Sika-viskoret 1003* adalah 1,25%, 1,50%, 1,75% dan 2,00% dari berat semen. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah semakin banyak *sika-viscocrete 1003* yang ditambahkan, pada adukan beton dengan mutu rencana 50 MPa maka adukan beton semakin mengalir dan kuat tekan betonnya semakin meningkat. Hal tersebut dapat dilihat bahwa dengan penambahan *sika-viscocrete 1003* sebesar 2% dari berat semen kuat tekan beton mampu meningkat sebesar 1,73%.

Kata-kata kunci: *self compacting concrete*, serbuk limbah gerabah, dan *sika-viscocrete 1003*.

## Abstract

High strength concrete is one of the materials needed to make tall buildings. Self Compacting Concrete is one method for producing concrete of a high compressive. The main goal is to create high-quality concrete by mixing natural additives with gerabah waste powder and other chemical additives with *Sika-viscocrete 1003*. The procedure involves creating cylindrical specimens that are 150 mm and 300 mm. The specimens were made according to  $f_c' = 50$  MPa, the addition of 10% gerabah powder waste by weight of cement and *Sika-viscocrete 1003* variation was 1.25%, 1.50%, 1.75% and 2.00% by weight of cement. As more *Sika-viscocrete 1003* is added to a concrete mix with a design quality of 50 MPa, the concrete mix flows more and the concrete's compressive strength rises, according to the study's findings. As can be observed, the concrete pressure can rise by 1.73% with the addition of 2% *Sika-viscocrete 1003* by weight of cement.

Keywords: *self compacting concrete*, gerabah waste powder, and *sika-viscocrete 1003*.

© 2023. Bulletin of Civil Engineering UMY

## 1 PENDAHULUAN

Pembangunan gedung-gedung tinggi dan infrastruktur lainnya yang bersifat massal membutuhkan penggunaan beton dengan kuat tekan yang tinggi. Meningkatkan mutu bahan pembentuknya seperti penambahan atau mensubstitusikan bahan lain (*additive*) ke dalam campuran beton adalah hal yang perlu dilakukan untuk memperoleh beton mutu tinggi.

Untuk meningkatkan kekuatan beton, minimal ada tiga konsep dasar yang perlu diikuti, yaitu: peningkatan kekuatan pasta semen, pemilihan kualitas agregat yang baik, dan peningkatan kuat lekatan antara pasta semen dengan agregat (Rad, dkk, 2020). Pada penelitian ini yang dilakukan adalah peningkatan kuat lekat pada pasta semen yaitu dengan penambahan serbuk limbah gerabah.

Pada pekerjaan konstruksi saat ini, dibutuhkan beton yang mudah dikerjakan, mudah dipompa dan dapat mengalir mengisi celah-celah tulangan yang terpasang rapat sehingga dihasilkan beton yang padat dan awet. Karena adanya tuntutan seperti ini, maka saat ini dikembangkan beton dengan pemadatan sendiri (*self compacting concrete/SCC*) (Amalia dan Riyadi, 2019).

*Self-consolidating concrete* (SCC) adalah beton nonsegregasi yang sangat mudah mengalir yang dapat menyebar ke tempatnya, mengisi bekisting, dan membungkus tulangan tanpa konsolidasi mekanis (ACI, 2019). Salah satu pengujian untuk mengetahui *flowability* beton dilapangan adalah uji *slump flow*, yaitu uji slump yang menggunakan kerucut Abraham's dengan posisi terbalik. Menurut EFNARC (2002) nilai *slump flow* yang diperlukan untuk SCC antara 650 – 850 mm.

Menurut Okamura and Ozawa (1996) metode untuk mencapai self-compactability tidak hanya melibatkan deformabilitas pasta atau mortar yang tinggi, tetapi juga ketahanan terhadap segregasi antara agregat kasar dan mortar ketika beton mengalir melalui zona terbatas tulangan, untuk mencapai pemadatan mandiri telah diterapkan metode: konten agregat terbatas, rasio air-bubuk rendah, dan penggunaan superplasticizer.

Bahan kimia aditif didefinisikan sebagai bahan kimia (berupa bubuk atau cairan) yang dicampur dalam beton selama pengadukan dalam jumlah tertentu untuk mengubah menjadi beberapa sifatnya. Karena pembuatan beton mutu tinggi, campurannya akan cukup kental. Oleh karena itu diperlukan bahan tambahan untuk membuat campuran encer tanpa mengubah mutu beton yang telah dibuat dan digunakan sika-viscocrete 1003 sebagai bahan tambah kimia.

Bahan alami aditif diantaranya adalah pozolan yaitu bahan alam atau buatan yang sebagian besar terdiri dari sari unsur-unsur silikat dan atau aluminat yang reaktif. Gerabah dibuat dari tanah liat dan tanah liat memiliki kandungan unsur yang hampir sama dengan semen yaitu mengandung aluminium (Al), silika (Si), Kalsium oksida (CaO), besi oksida (FeO), dan magnesium oksida (MgO) yang mempunyai peranan penting dalam mempercepat proses pengikatan dan pengerasan pada beton (Marino and Setiyarto 2020).



(a) Limbah gerabah



(b) Penumbukan limbah gerabah



(c) Pengayakan limbah gerabah



(d) Hasil pengayakan limbah gerabah

Gambar 1 Proses membuat serbuk limbah gerabah lolos saringan #200

Terdapat banyak pabrik yang memproduksi gerabah dari tanah liat di Daerah Istimewa Yogyakarta yaitu di Kabupaten Bantul. Untuk gerabah yang cacat produksi, gerabah diolah kembali atau didaur ulang. Pecahan-pecahan gerabah semakin banyak dan menjadi limbah. Dengan melihat fenomena tersebut, maka penelitian dilakukan dengan memanfaatkan limbah gerabah tersebut, dikarenakan gerabah berasal dari tanah liat.

Pemberian serbuk limbah gerabah (filler) pada adukan beton adalah untuk mengisi rongga dalam campuran beton dan untuk meningkatkan daya ikat beton (Al Saffar & Tayeh, 2018). Cara yang dilakukan pada penelitian ini adalah limbah gerabah yang diambil dari pusat kerajinan gerabah Kasongan, Bantul DIY, dipecah, dihaluskan, dan disaring sampai lolos saringan #200 dapat dilihat pada Gambar 1.

### 3.1. Slump flow

Menurut (EFNARC 2002) hasil uji slump (*slump-flow test*) beton SCC yang menggunakan kerucut Abram's nilainya 650mm - 850mm. Nilai *slump-flow test* digunakan untuk menentukan *filling ability* baik di laboratorium maupun di lapangan.

### 3.2. Prosedur pembuatan benda uji

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan agregat halus dan agregat kasar sesuai dengan SNI, diantaranya pemeriksaan gradasi agregat (SNI 03-1968-1990), pemeriksaan BJ dan penyerapan agregat (SNI 03-1970-2008), pemeriksaan kadar lumpur agregat halus (SK SNI S-04-1989-F). Material yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Material yang digunakan

2. Membuat *mix design*, sehingga kebutuhan bahan dapat diketahui guna penyediaan/pembelian material yang digunakan dalam penelitian. *Mix desain* pada penelitian ini untuk menentukan nilai deviasi standar ( $s$ ), perhitungan nilai tambah ( $m$ ), penetapan nilai kuat tekan rata-rata yang direncanakan ( $f'_c$ ), dan menentukan faktor air semen ( $f_{as}$ ) menggunakan SNI beton struktursl untuk bangunan gedung (Badan Standardisasi Nasional Indonesia 2013).

Untuk langkah-langkah perancangan campuran beton menggunakan SNI tata cara pembuatan rencana campuran beton normal (Badan Standardisasi Nasional 2000a).

Berikut ini adalah desain perencanaan campuran (*mix design*):

|                    |                                     |
|--------------------|-------------------------------------|
| $f'_c$             | = 50 MPa                            |
| Jenis semen        | = Semen serbaguna (Tipe I)          |
| Nilai slump        | = Minimal 7,5 cm dan Maksimal 15 cm |
| Jenis krikil       | = Batu pecah (split)                |
| Ukuran maks. split | = 20 mm                             |
| MHB split          | = 6,31                              |

|   |                           |
|---|---------------------------|
| BJ krikil   | = 2,64                    |
| Penyerapan air split  | = 0,261                   |
| Jenis pasir   | = Agak kasar (Golongan I) |
| MHB pasir   | = 3,24                    |
| BJ pasir  | = 2,77                    |
| Penyerapan air pasir  | = 4,058                   |
| Kadar lumpur  | = 3,49                    |
| Hasil perhitungan perancangan adukan beton normal dapat dilihat pada Tabel 1. |                           |

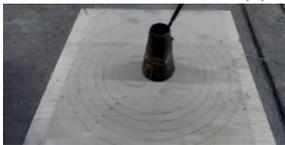
Tabel 1 Kebutuhan bahan dalam 1 m<sup>3</sup>

| Kebutuhan Bahan  | Air (L) | Semen (kg) | Pasir (kg) | Split (kg) |
|------------------|---------|------------|------------|------------|
| 1 m <sup>3</sup> | 205     | 683,33     | 505,87     | 758,80     |

- Menyiapkan peralatan yang akan digunakan, beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



(a) Molen



(b) Peralatan uji slump



(c) silinder beton

Gambar 3 Peralatan yang digunakan

- Setelah diperoleh komposisi campuran, serbuk limbah gerabah diambil sebesar 10% dari berat semen.
- Kemudian dilakukan trial-mix beton normal (BNG) dan beton normal dan serbuk gerabah (BN), adukan sangat kental dan cepat mengeras. Oleh karenanya dicari bahan tambah kimia yang dapat mengencerkan adukan tetapi tidak mengurangi kekuatan, dilapangan diperoleh bahan tambah sika-viscocrete 1003.
- Benda uji yang dibuat: campuran beton (BNG), campuran beton, serbuk limbah gerabah (BN) dan campuran beton, serbuk limbah gerabah, sika-viscocrete 1003 diambil sebesar 1,25%, 1,50%, 1,75%, dan 2,00% dari berat semen. Jumlah masing-masing benda uji 3, jadi total jumlah benda uji 18 buah.
- Selanjutnya dilakukan pencampuran lagi dengan urutan kerikil, pasir, semen, dan serbuk gerabah dimasukkan ke molen, kemudian mesin diputar  $\pm 2$  menit. Kemudian baru dimasukkan air 75% + sika viscocrete 1003 aduk  $\pm 1$  menit, baru kemudian air terakhir (sisa 25%) dimasukkan. Setelahnya molen tetap diputar selama  $\pm 2$  menit agar adukan beton tercampur merata. Hasil pengadukan beton dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Hasil adukan beton, siap dilakukan uji slump

- Setelah semua selesai, dilakukan uji slump, uji slump dilakukan cara sederhana dengan menggunakan kerucut Abram's dengan posisi terbalik (*slump flow test*), cara pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Proses uji slump

- Pengujian *slump flow* dapat dilihat pada Gambar 6, setelah 1 menit kerucut Abram's diangkat dan akan terlihat beton mengalir yang kemudian diukur.



Gambar 6 Hasil uji slump

- Setelahnya baru benda uji dimasukkan ke dalam silinder beton dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Adukan beton dimasukkan ke dalam benda uji silinder

- Adukan beton yang sudah jadi dibiarkan 1 hari di dalam cetakan silinder, dan esoknya baru dibuka dapat dilihat pada Gambar 8 (a). Kemudian benda uji tersebut dilakukan *curing*, dengan cara dilakukan perendaman dalam bak air yang dapat dilihat pada Gambar 8 (b). Perendaman dilakukan sampai hari ke-27, kemudian benda uji diangin-anginkan 1 hari. Dan pada hari ke-28 baru dilakukan pengujian.



(a) Pembukaan Benda Uji (b) Perendaman benda uji

Gambar 8 Proses pembukaan silinder benda uji dan curing benda uji

12. Sebelum diuji, dilakukan penimbangan berat dan pengukuran benda uji. Kemudian dilakukan pengkappingan dan setelah itu siap untuk di uji tekan. Proses pengukuran benda uji, penimbangan benda uji, pengkappingan benda uji, serta persiapan uji tekan dan hasil uji tekan dapat dilihat pada Gambar 9.



(a) Pengukuran benda uji (b) Penimbangan benda uji



(c) Pengkappingan benda uji



(d) Pengujian benda uji (e) Hasil pengujian

Gambar 9. Proses pengujian

### 3.3. Pengujian kuat tekan beton

Menurut (Pusjatan-Balitbang PU 1990), kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan.

Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan menggunakan alat *compression test machine*, dan benda uji standar yang digunakan dalam uji kuat tekan beton adalah silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Beberapa faktor utama yang mempengaruhi mutu dari kekuatan beton, adalah proporsi bahan - bahan

penyusunnya, metode perancangan, perawatan, dan keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan, yang terutama dipengaruhi oleh lingkungan setempat. Dari faktor - faktor utama tersebut termasuk didalamnya beberapa faktor lain yang mempengaruhi kekuatan tekan beton, yaitu faktor air semen dan kepadatan, umur beton, jenis semen, jumlah semen, dan sifat agregat. Menurut (Pusjatan-Balitbang PU 1990), kuat tekan yang terjadi dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan berikut ini:

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

$f'_c$  : kekuatan tekan ( $N/mm^2$  atau MPa)

$P$  : beban tekan (N)

$A$  : luas permukaan benda uji ( $mm^2$ )

## 2 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil *mix design* dengan kuat tekan beton rencana sebesar 50 MPa diperoleh kebutuhan material untuk masing-masing yang dapat dilihat pada Tabel 1 di atas. Pada penelitian ini serbuk limbah gerabah yang digunakan diambil 10% dari berat semen yang dihasilkan dari perhitungan *mix design*, dan rincian kebutuhan material beton untuk 1 silinder dan berat serbuk limbah gerabah dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Kebutuhan material untuk benda uji

| Kebutuhan Bahan | Air (L) | Semen (kg) | Pasir (kg) | Split (kg) | Serbuk gerabah (gr) |
|-----------------|---------|------------|------------|------------|---------------------|
| 1 sldr + 30%    | 1,41    | 4,71       | 3,49       | 5,23       | 471,00              |

Pada pengujian pendahuluan, campuran beton non serbuk limbah gerabah (BNG) menghasilkan kuat tekan sebesar 15,57 MPa dan campuran beton dan serbuk limbah gerabah (BN) menghasilkan kuat tekan 18,28 MPa. Dari hasil kuat tekan kedua adukan beton tersebut penambahan gerabah sebesar 10% dari berat semen meningkatkan kuat tekan beton, tapi kuat tekan yang dihasilkan jauh dari kuat tekan rencana sebesar 50 MPa. Hal ini bisa disebabkan dari pengamatan yang dilakukan pada pembuatan kedua beton tersebut adukannya sangat kental dan cepat mengeras.

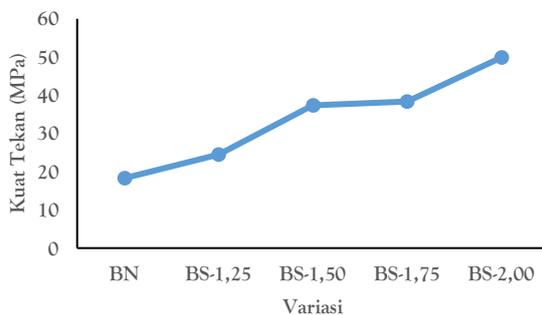
Penelitian berikutnya dilakukan penambahan sika-viscocrete 1003, dimana fungsi bahan tambah kimia ini adalah untuk mengencerkan adukan beton (Mittal, dkk, 2013). Untuk sika-viscocrete 1003 diambil sebesar 0%, 1,25%, 1,50%, 1,75%, dan 2,00% dari berat semen. Kuat tekan yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Kuat tekan beton rata-rata pada umur 28 hari

| Benda Uji | Keterangan  | $f'_c$ (MPa) |
|-----------|---|--------------|
| BN        | Beton serbuk limbah gerabah                           | 18,28        |
| BS-1,25   | Beton serbuk limbah gerabah dan sika-viscocrete 1,25% | 24,43        |
| BS-1,50   | Beton serbuk limbah gerabah dan sika-viscocrete 1,50% | 37,33        |
| BS-1,75   | Beton serbuk limbah gerabah dan sika-viscocrete 1,75% | 38,33        |
| BS-2,00   | Beton serbuk limbah gerabah dan sika-viscocrete 2,00% | 49,85        |

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa semakin banyak bahan tambah sika-viscocrete 1003 diberikan pada adukan

beton maka kuat tekan yang dihasilkan semakin tinggi. Dari Tabel 3 dapat dilihat beton dengan serbuk limbah gerabah (BN) hanya menghasilkan kuat tekan sebesar 18,28 MPa, beton dengan serbuk limbah gerabah dan sika-viscocrete 1003 sebanyak 1,25% dari berat semen menghasilkan kuat tekan beton sebesar 24,43 MPa, beton dengan serbuk limbah gerabah dan sika-viscocrete 1003 sebanyak 1,50% dari berat semen menghasilkan kuat tekan beton sebesar 37,33 MPa, beton dengan serbuk limbah gerabah dan sika-viscocrete 1003 sebanyak 1,75% dari berat semen menghasilkan kuat tekan beton sebesar 38,33 MPa, dan beton dengan serbuk limbah gerabah dan sika-viscocrete 1003 sebanyak 2,00% dari berat semen menghasilkan kuat tekan beton sebesar 49,85 MPa. Hal ini membuktikan bahwasannya semakin banyak sika-viscocrete 1003 diberikan semakin cair betonnya, sehingga betonnya menjadi semakin padat.



Gambar 10 Hasil pengujian kuat tekan

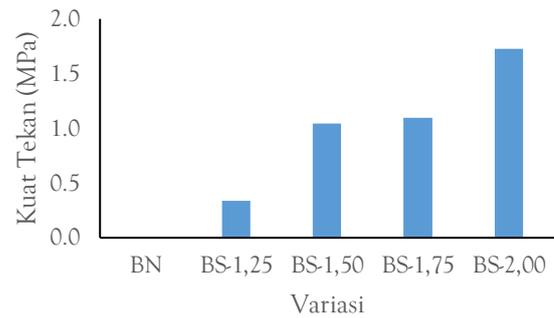
Penambahan sika-viscocrete 1003, dikarenakan pada brosur tidak tertulis persentase penggunaan, maka pada penelitian ini dicoba penggunaan bervariasi. Dari hasil pengujian bertambahnya persentase sika-viscocrete 1003, beton semakin mudah dikerjakan dan dari hasil uji kuat tekan diperoleh kuat tekan semakin tinggi. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 10 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya sika-viscocrete 1003 kuat tekan betonnya meningkat, untuk lebih rincinya peningkatan kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Persentase peningkatan kuat tekan beton hasil pengujian

| Benda Uji | fc' (MPa) | Peningkatan Kuat Tekan (%) |
|-----------|-----------|----------------------------|
| BN        | 18,28     | 0,000                      |
| BS-1,25   | 24,43     | 0,336                      |
| BS-1,50   | 37,33     | 1,042                      |
| BS-1,75   | 38,33     | 1,097                      |
| BS-2,00   | 49,85     | 1,727                      |

Peningkatan kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 4, beton dengan penambahan sika-viscocrete 1003 sebesar 1,25% dari berat semen kuat tekan betonnya meningkat 0,336%, beton dengan penambahan sika-viscocrete 1003 sebesar 1,50% dari berat semen kuat tekan betonnya meningkat 1,097%, beton dengan penambahan sika-viscocrete 1003 sebesar 1,75% dari berat semen kuat

tekan betonnya meningkat 1,097%, dan beton dengan penambahan sika-viscocrete 1003 sebesar 2,00% dari berat semen kuat tekan betonnya meningkat 1,727%.



Gambar 11 Hasil peningkatan uji kuat tekan

Dari gambar 11 dapat dilihat peningkatan kuat tekan maksimum terdapat pada beton dengan serbuk limbah gerabah dan sika-viscocrete 1003 sebanyak 2,00% dari berat semen menghasilkan peningkatan kuat tekan beton sebesar 1,727%.

### 3 KESIMPULAN

Pemanfaatan limbah serbuk gerabah yang lolos saringan #200 membuat adukan beton menjadi sangat kental dan cepat mengeras. Oleh karenanya dalam penelitian ini dikembangkan penggunaan bahan tambah kimia sika-viscocrete 1003 yang pada kemasannya tertulis memberikan kemudahan mengalir dan sifat mengalir yang tahan lama serta mengurangi segregasi dan bleeding secara signifikan

Campuran beton, serbuk limbah gerabah dan sika-viscocrete 1003 sebesar 2% dari berat semen menjadikan kuat tekan beton mendekati perencanaan. Dengan melihat fenomena ini kedepannya bisa dikembangkan lagi penelitian dengan menambah persentase sika-viscocrete 1003.

### 4 UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami haturkan untuk Institut Teknologi Nasional Yogyakarta yang telah mendukung penelitian ini dengan mengizinkan kami melakukan penelitian di Laboratorium Bahan. Terima kasih untuk mahasiswa yang telah membantu kami dalam pelaksanaan penelitian ini.

### 5 DAFTAR PUSTAKA

- ACI 237 R. 2019. *Self-Consolidating Concrete ACI 237 R*.
- Al Saffar, M. D., & Tayeh, B. A. (2018). Influence of Pottery Clay in Cement Mortar and Concrete Mixture: A Review. *International Journal of Engineering & Technology*, 67-71.
- Amalia, Amalia, and Muhtarom Riyadi. 2019. "Kualitas Beton SCC Dengan Substitusi Agregat Halus Tailing Tambang Emas Daerah Pongkor." *Media Komunikasi Teknik Sipil* 25(1):59. doi: 10.14710/mkts.v25i1.18500.
- Badan Standardisasi Nasional. 2000a. "SNI 03-2834-2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran

- Beton Normal." Sni 03-2834-2000 1-34.
- Badan Standardisasi Nasional. 2000b. "Sni 03-6468-2000 Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi Dengan Semen Portland Dengan Abu Terbang." 18.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. 2013. "Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)." Jakarta: BSN.
- EFNARC. 2002. "Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete." 44(February).
- EPG. 2005. "ERMCO The European Guidelines for Self-Compacting Concrete." *The European Guidelines for Self Compacting Concrete* (May).
- Marino, Gino, and Y. Djoko Setiyarto. 2020. "Penggunaan Tanah Liat Untuk Mengurangi Jumlah Semen Pada Beton Geopolimer." *CRANE: Civil Engineering Research Journal* 1(2):82-88. doi: 10.34010/crane.v1i2.4186.
- Mittal, M., Basu, S., & Sofi, A. (2013). Effect of Sika Visco Crete on Properties of Concrete. *International Journal of Civil Engineering (IJCE)*, 61-66.
- Okamura, Hajime, and Kazumasa Ozawa. 1996. "Self-Compacting High Performance Concrete." *Structural Engineering International: Journal of the International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE)* 6(4):269-70. doi: 10.2749/101686696780496292.
- Pusjatan-Balitbang PU. 1990. "Metode Pengujian Kuat Kuat Tekan Beton (SNI 03-1974-1990)." 2-6.
- Rad, T. A., Tanzadeh, J., & Pourdada, A. (2020). Laboratory evaluation of self-compacting fiber-reinforced concrete modified with hybrid of nanomaterials. *Construction and Building Materials*.