

ANALISIS PENETRASI ION KLORIDA PADA BETON HIGH VOLUME FLY ASH MUTU TINGGI DENGAN VARIASI TINGKAT KEHALUSAN FLY ASH

Mochammad Solikin¹⁾, Budi Setiawan²⁾, Yenny Nurchasanah³⁾, Singgih Prayogi⁴⁾

^{1, 2, 3, 4)}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Email: msolikin@ums.ac.id¹⁾, bs281@ums.ac.id²⁾, yn205@ums.ac.id³⁾, d100140227@student.ums.ac.id⁴⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v12i2.749>

(Received: May 2022 / Revised: August 2022 / Accepted: August 2022)

Abstrak

Beton mutu tinggi memerlukan material khusus tambahan salah satunya berupa *fly ash* dengan maksud meningkatkan kinerja beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kehalusan *fly ash* terhadap penetrasi ion klorida beton *high volume fly ash* mutu tinggi. Benda uji menggunakan kadar *fly ash* 50% sebagai substitusi semen dengan variasi kehalusan lolos ayakan mesh ukuran 200 dan 400. Pengujian meliputi perkembangan kuat tekan beton umur 28 dan 56 hari dan uji penetrasi ion klorida menggunakan metode *Rapid Chloride Penetration Test* (RCPT) umur 56 hari. Benda uji kuat tekan silinder diameter 15 cm, tinggi 30 cm sedangkan benda uji penetrasi ion klorida silinder diameter 10 cm, tinggi 5 cm. Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan semakin halus *fly ash* maka menghasilkan kuat tekan yang setara dengan kuat tekan beton acuan dan semakin halus butiran *fly ash* maka ketahanan penetrasi ion klorida dapat mencapai level sangat rendah.

Kata kunci: *beton mutu tinggi, high volume fly ash, kuat tekan beton, rapid chloride penetration test.*

Abstract

High strength concrete requires special materials such as fly ash to improve concrete properties. This study was intended to determine the effect of fly ash fineness on chloride ion penetration of high-volume fly ash concrete. The mix proportion employed fly ash content of 50% by cement weight as a cement substitution with variations in fineness i.e.: passing through mesh sizes of 200 and 400. The testing program consists of compressive strength development of concrete at the age of 28 and 56 days and chloride ion penetration test using Rapid Chloride Penetration Test (RCPT) method at the age of 56 days. The cylindrical compressive strength test specimen has a diameter of 15 cm, and a height of 30 cm, while the cylindrical concrete specimen with a diameter of 10 cm and height of 5 cm was used for chloride ion penetration test. The compressive strength test results show that the finer the fly ash the higher the compressive strength for all test ages. In addition, the finer the fly ash leads to the denser the concrete, as shown by very low chloride ion penetration resistance levels.

Keywords: *high strength concrete, high volume fly ash, compressive strength, rapid chloride penetration test.*

1. Latar Belakang

Beton mutu tinggi merupakan beton dengan perlakuan khusus yang tidak dapat selalu dicapai hanya dengan penggunaan material konvensional (Ervianto, Saleh dan Prayuda, 2016).

Beton mutu tinggi sering digunakan sebagai bahan bangunan struktur seperti struktur gedung bertingkat tinggi, struktur jembatan atau bangunan yang memerlukan beton dengan kuat tekan lebih dari 40 MPa (Luga dan Atiş, 2016).

Keunggulan beton mutu tinggi dibandingkan dengan beton normal antara lain kekuatan tekannya yang tinggi sehingga dimensi dari elemen struktur dapat menjadi lebih ramping (Sumajouw, Dapas and Windah, 2014).

Peningkatan mutu beton dapat dilakukan dengan penambahan bahan lain kedalam campuran beton (Usrina, Aulia dan Muttaqin, 2018). Salah satu bahan tambah atau bahan pengganti semen adalah material *fly ash*. *Fly ash* memiliki kemiripan dengan sifat semen yang ditinjau dari dua sifat utama, yaitu sifat fisik dan kimiawi. Secara fisik, *fly ash* memiliki kemiripan dengan semen dalam hal kehalusan butir-butirnya.

Fly ash memiliki kehalusan yaitu lolos ayakan No. 325 (45 mili mikron) 5-27%, dengan *specific gravity* antara 2.15-2.8 dan berwarna abu-abu kehitaman. Sifat kimia *fly ash* berupa silika dan alumina dengan presentase mencapai 80%. Penggunaan *fly ash* sebagai material pembentuk beton memberikan dampak positif jika ditinjau dari segi lingkungan (Setiawati, 2018).

Dalam perkembangannya, pemanfaatan *fly ash* bahkan sudah sampai kadar lebih dari 50% sebagai pengganti sebagian semen atau dikenal dengan *High Volume Fly ash Concrete (HVFAC)* (Herath dkk, 2020). Penggunaan *high volume fly ash* dalam beton semakin penting dan dianggap sebagai opsi *green concrete* untuk banyak konstruksi beton.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa HVFAC memiliki kekuatan yang lebih rendah pada usia dini tetapi pada usia yang lebih tua HVFAC menunjukkan peningkatan yang terus menerus dalam sifat kekuatannya. Secara signifikan lebar retak dan susut pengeringan berkurang dan dengan demikian berkontribusi pada ketahanan jangka panjang beton. HVFAC menunjukkan biaya yang sebanding dengan keunggulan peningkatan kekuatan dan peningkatan daya tahan. Dengan demikian, beton HVFA lebih cocok untuk lingkungan agresif dimana kekuatan awal tidak terlalu dibutuhkan (Madhavi Ch, Swamy Raju dan Mathur, 2014).

Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian ini dilakukan guna menguji ketahanan penetrasi ion klorida pada beton *high volume fly ash* mutu tinggi dengan variasi tingkat kehalusan abu terbang (*fly ash*) yang lolos saringan no.200 dan no.400 sebagai bahan pengurang semen dalam pembuatan beton.

Rangkaian pengujian meliputi pengujian *slump*, perkembangan kuat tekan, dan penetrasi ion klorida (*Rapid Chloride Penetration Test = RCPT*). Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi pada penemuan rancangan campuran beton mutu tinggi yang ekonomis.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah metode eksperimental dengan pelaksanaan di laboratorium. Ukuran benda uji berupa silinder beton dengan diameter 15 cm tinggi 30 cm untuk uji kuat tekan dan ukuran benda uji diameter 10 cm tinggi 5 cm untuk uji penetrasi ion klorida. Pelaksanaan penelitian ini akan dilakukan di laboratorium Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Pelaksanaan penelitian dibagi menjadi lima tahap meliputi persiapan alat dan bahan, pengujian material, pembuatan benda uji, pengujian benda uji, analisis data dan pembahasan. Bahan yang dipersiapkan meliputi agregat halus yang berasal dari daerah Gunung Merapi, agregat kasar dengan ukuran diameter maksimal 12.5 mm berasal dari *stone crusher* daerah Klaten, *superplasticizer* yang digunakan berasal dari PT Sika Indonesia, semen yang digunakan merupakan semen produksi PT Semen Gresik, *fly ash* yang digunakan berasal dari PT Varia Usaha Beton. Semua material tersebut sudah dilakukan uji kualitas sehingga memenuhi untuk digunakan dalam campuran beton

Tahapan selanjutnya meliputi perencanaan campuran beton, pembuatan campuran beton, pengujian *slump*, pembuatan benda uji dan perawatan beton. Perencanaan campuran beton dihitung menggunakan metode SNI 03-2834-2000, (2000) untuk menghasilkan beton mutu tinggi dengan kuat tekan rencana f'_c 45 MPa. Selanjutnya dibuat campuran beton sesuai dengan proporsi masing-masing bahan yang sudah didapatkan dan dilakukan pengujian *slump*. Benda uji dibuat dengan cetakan silinder beton ukuran diameter 15 cm, tinggi 30 cm dan silinder untuk pengujian RCPT ukuran diameter 10 cm, tinggi 5 cm, di diamkan didalam cetakan selama 2x24 jam sebelum dilepas. Setelah benda uji dilepas dari cetakan, benda uji direndam dalam bak perendaman berisi air selama 28 dan 56 hari.

Tabel 1 Jumlah benda uji

Prosentase Abu Terbang Lolos Saringan 200 dan 400 (%)	Kuat Tekan Silinder (Ø15 cm, Tinggi 30cm)		RCPT (Ø10cm, Tinggi 5cm)
	28 hari	56 Hari	56 hari
	0%	3	3
50% lolos saringan 200	3	3	3
50% lolos saringan 400	3	3	3
Jumlah Total	27		

Tabel 2 Komposisi beton mutu tinggi untuk 1 m³

Material	Beton Acuan	<i>Fly ash</i> 50% Lolos 200	<i>Fly ash</i> 50% Lolos 400
Pasir (kg)	827,35	827,35	827,35
Kerikil (kg)	895,84	895,84	895,84
<i>Fly ash</i> (kg)	-	282,5	282,5
<i>Portland Cement</i>	565	282,5	282,5
Air (liter)	169,5	169,5	169,5
Total (kg)	2457,69	2457,69	2457,69

Tahapan selanjutnya adalah pengujian benda uji yang telah berumur 28 dan 56 hari. Pengujian yang dilakukan meliputi, pengujian *slump* beton, pengujian kuat tekan silinder beton dan pengujian RCPT.

Pengujian *slump* beton sesuai dengan metode uji menurut SNI 1972-2008, (2008). Sedangkan pengujian kuat tekan dengan benda uji silinder dilakukan dengan alat uji *Compression Testing Machine* (CTM) sesuai dengan metode uji menurut SNI 1974-2011, (2011). Perhitungan dilakukan dengan persamaan sebagai berikut

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

Keterangan

- f'_c = kuat tekan (N/mm²)
- P = gaya tekan aksial (N)
- A = luas penampang (mm²)

Pengujian penetrasi ion klorida menggunakan metode *Rapid Chloride Penetration Test* (RCPT) sesuai dengan metode uji menurut ASTM C1202, (2012). Sebelum dilakukan pengujian RCPT, benda uji untuk RCPT divacum selama 3 jam untuk mengeluarkan udara yang terjebak dalam pori-pori beton. Kemudian beton direndam selama 18 jam agar pori-pori beton menjadi jenuh terisi oleh air. Uji RCPT dilakukan dengan mengalirkan arus listrik tegangan 60 Volt DC dari sel positif ke sel negatif selama 6 jam. Sel positif diisi larutan NaOH 0,3N sedangkan sel negatif diisi larutan NaCl 3%. Pengujian RCPT dilakukan dengan mencatat arus yang lewat setiap 30 menit selama 6 jam sehingga dapat dihitung nilai coulomb. Perhitungan dilakukan dengan persamaan sebagai berikut

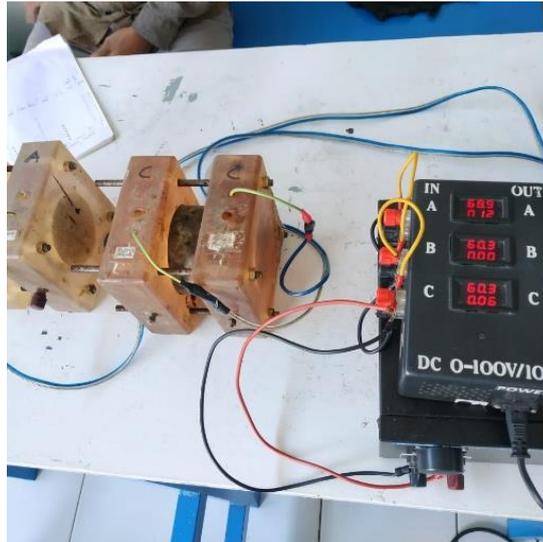
$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{300} + 2I_{330} + I_{360}) \quad (2)$$

Keterangan

- Q = Nilai *charge passed* (coulomb)
- I_0 = Arus (*ampere*) segera setelah tegangan diberikan
- I_t = Arus (*ampere*) pada t menit setelah tegangan diberikan



Gambar 1 Tahap vacum beton

Gambar 2 Tahap *rapid chloride penetration test*

Tahapan terakhir yaitu dilakukan analisis data dan dilakukan pembahasan. Analisis data dilakukan dengan pembahasan dan pengolahan data hasil penelitian. Data tersebut dianalisis dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik serta membandingkan satu dengan yang lainnya. Berdasarkan hasil analisis tersebut, maka akan mendapatkan suatu kesimpulan mengenai penelitian ini.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian *slump* dilakukan sebelum campuran beton dituang ke dalam cetakan silinder beton. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui *workability* dan kekentalan adukan beton yang akan dituang ke dalam cetakan silinder beton. Pengujian dilakukan dengan cara memasukkan campuran beton segar kedalam kerucut *Abrams* seperti diperlihatkan pada Gambar 3, dan selanjutnya diukur penurunannya.

Tabel 3 Hasil pengujian *slump*.

Benda Uji	Penggunaan air per m ³ (liter)		<i>Slump</i> (cm)
	Rencana	Aktual	
Beton Acuan Mutu Tinggi	169,5	169,5	15
HVFA Lolos Saringan 200	169,5	120,3	12
HVFA Lolos saringan 400	169,5	120,3	12

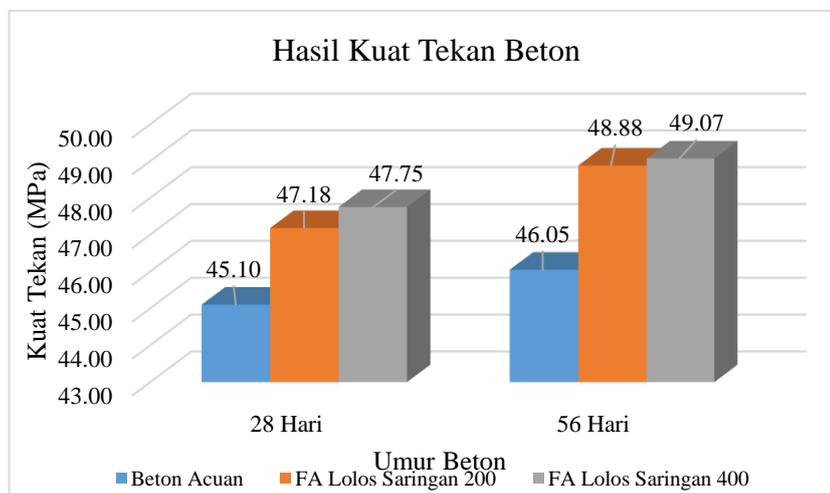
Berdasarkan Tabel 3 hasil pengujian *slump* menunjukkan nilai *slump* beton acuan dengan beton menggunakan campuran *fly ash* memiliki nilai *slump* yang lebih rendah, namun masih dalam rentang *slump* rencana sebesar 10-20 cm. Selain itu Tabel 3 juga menunjukkan jumlah pemakaian air pada beton HVFA yang lebih sedikit dibandingkan beton acuan. Hasil ini sesuai dengan penelitian Ekasanti, Kristiawan dan Sunarmasto, (2014) bahwa semakin besar kadar *fly ash*, maka semakin kecil kebutuhan air untuk mencapai *slump* yang direncanakan. Hasil pengujian *slump* juga menunjukkan bahwa kehalusan butiran *fly ash* tidak mempengaruhi jumlah pemakaian air dan nilai *slump*.



Gambar 3 Hasil pengukuran *slump*

3.2 Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton dalam menahan beban dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan dalam setiap satu satuan luas permukaan beton. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan alat *Compression Testing Machine* (CTM). Hasil pengujian kuat tekan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Hasil pengujian kuat tekan silinder.

Hasil pengujian kuat tekan beton pada Gambar 4 menunjukkan peningkatan hasil kuat tekan rata-rata dari umur 28 hari ke umur 56 hari untuk ketiga jenis variasi campuran yaitu sebesar 2,1% untuk beton acuan, 3,5% untuk beton FA lolos saringan 200 dan 2,7% untuk beton FA lolos saringan 400. Dengan demikian beton FA lolos saringan 200 memiliki perkembangan kuat tekan yang lebih lambat dibandingkan variasi campuran beton lainnya. Selanjutnya ketiga jenis variasi

campuran mampu menghasilkan beton mutu tinggi baik pada umur pengujian 28 hari maupun 56 hari.

Dari Gambar 4 juga dapat disimpulkan kehalusan *fly ash* sangat berpengaruh pada hasil kuat tekan dimana memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan beton acuan dan semakin tinggi tingkat kehalusan *fly ash* semakin tinggi peningkatan kuat tekannya. Hal ini dikarenakan butiran *fly ash* yang jauh lebih kecil akan bersifat lebih reaktif dan butiran yang kecil dapat mengisi rongga-rongga halus di dalam beton.

Dari Gambar 4 juga dapat disimpulkan bahwa prosentase peningkatan kuat tekan pada beton *fly ash* seiring dengan penambahan umur beton sedikit lebih tinggi dibandingkan beton acuan. Sebagai pembanding dari hasil tersebut, menurut Prihantoro (2015) peningkatan kuat tekan beton pada umur 28 hari ke 56 hari lebih tinggi pada beton HVFA apabila dibandingkan dengan beton normal.

3.3 Pengujian Penetrasi Ion Klorida

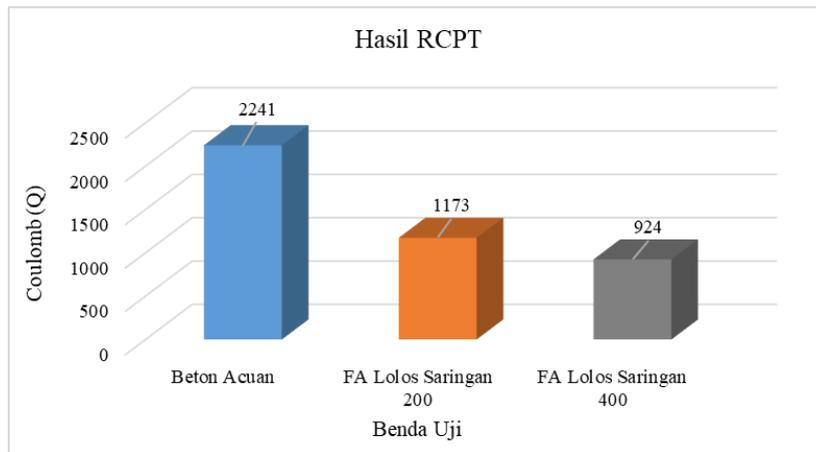
Pengujian penetrasi ion klorida menggunakan metode RCPT dilakukan dengan mencatat arus yang lewat (Ampere) pada benda uji umur 56 hari setiap 30 menit selama 6 jam sehingga dapat dihitung nilai *charge passed* dalam satuan coulomb. Hasil Pengujian penetrasi ion klorida diperlihatkan pada Tabel 4, Tabel 5 dan Gambar 5.

Tabel 4 Hasil pengukuran *charge passed* menit ke 0 sampai menit ke 180

Jenis benda uji	Nilai rata-rata arus (Ampere) setiap 30 menit						
	Menit ke 0	30	60	90	120	150	180
Acuan	0,035	0,040	0,047	0,054	0,062	0,072	0,083
FA lolos saringan 200	0,021	0,023	0,027	0,031	0,036	0,042	0,048
FA lolos saringan 400	0,018	0,020	0,023	0,026	0,030	0,034	0,039

Tabel 5 Hasil pengukuran *charge passed* menit ke 0 sampai menit ke 180

Jenis benda uji	Nilai rata-rata arus (Ampere) setiap 30 menit						Charge passed Q (coulomb)
	Menit ke 210	240	270	300	330	360	
Acuan	0,095	0,110	0,127	0,147	0,169	0,195	2241
FA lolos saringan 200	0,055	0,064	0,074	0,085	0,098	0,113	1173
FA lolos saringan 400	0,044	0,050	0,057	0,065	0,074	0,084	924



Gambar 5 Hasil pengujian RCPT.

Berdasarkan Tabel 4 dan Tabel 5 persamaan 2 hasil pengujian RCPT beton didapatkan hasil nilai rata-rata *charge passed (coulomb)* beton acuan sebesar 2241 coulomb, beton dengan *fly ash* 50% lolos saringan 200 sebesar 1173 coulomb, beton dengan *fly ash* 50% lolos saringan 400 sebesar 924 coulomb. Nilai-nilai *charge passed* tersebut kemudian dibandingkan dengan standar kriteria penetrasi ion klorida sebagaimana tercantum dalam ASTM C 1202 sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Kriteria Penetrasi ion Klorida (ASTM C1202-12)

Nilai <i>charge passed</i> (Coulomb)	Kriteria penetrasi ion klorida
> 4000	High
4000 – 2001	Moderate
2000 – 1001	Low
1000 - 100	Very low
< 100	Negligible

Membandingkan hasil *charge passed* yang diperoleh dengan kriteria penetrasi pada Tabel 5 membuktikan, bahwa pemakaian *high volume fly ash* mampu meningkatkan ketahanan beton terhadap penetrasi ion klorida, dimana terjadi penurunan kriteria penetrasi dari sedang menjadi rendah. Selanjutnya semakin halus *fly ash* yang digunakan maka kriteria penetrasi semakin menurun menjadi sangat rendah. Sebagai pembanding dari hasil tersebut, Nagaratnam dkk., (2015) yang meneliti ketahanan penetrasi ion klorida pada beton *high volume fly ash* menunjukkan hasil, bahwa terjadi peningkatan secara signifikan ketahanan penetrasi pada umur beton 84 hari.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil-hasil yang diperoleh dalam penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa kehalusan *fly ash* yang lebih tinggi (lolos saringan nomor 400) ketika digunakan sebagai bahan *high volume fly ash concrete* memberikan efek positif berupa hasil kuat tekan yang mendekati kuat tekan beton acuan apabila dibandingkan *fly ash* yang lolos saringan nomor 200. Selanjutnya hasil pengujian ketahanan penetrasi ion klorida beton yang menggunakan *fly ash* dengan kehalusan nomor 400 mendapatkan hasil yang signifikan dengan diperolehnya penurunan dua tingkat kriteria penetrasi ion klorida dari sedang menjadi sangat rendah.

4.2 Saran

Berdasarkan Penelitian ini dapat diberi saran sebagai bentuk rekomendasi yaitu dapat dikembangkan dengan menggunakan metode lain untuk meningkatkan kehalusan *fly ash* sehingga diperoleh hasil yang lebih baik.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta atas fasilitas pembuatan dan pengujian benda uji beton dan kepada PT Varia Usaha Beton yang sudah membantu dalam pengadaan *fly ash* untuk penelitian.

Daftar Kepustakaan

- ASTM C1202, 2012. Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, *American Society for Testing and Materials*, (C), pp. 1–8. DOI: 10.1520/C1202-12.2.
- Ekasanti, A. F., Kristiawan, S. A. and Sunarmasto, 2014. Pengaruh Kadar *Fly ash* Terhadap Kebutuhan Air dan Kuat Tekan High Volume *Fly ash*-Self Compacting Concrete (HVFA-SCC), *Matriks Teknik Sipil*, 2(2), pp. 8–15. <https://matriks.sipil.ft.uns.ac.id/index.php/MaTekSi/article/view/156>.
- Ervianto, M., Saleh, F. and Prayuda, H, 2016. Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Bahan Tambah Abut Terbang (*Fly ash*) Dan Zat Adiktif (Bestmittel), *Sinergi*, 20(3), p. 199. doi: 10.22441/sinergi.2016.3.005.
- Herath, C. *et al*, 2020. Performance of high volume *fly ash* concrete incorporating additives: A systematic literature review, *Construction and Building Materials*, 258, p. 120606. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.120606.
- Luga, E. and Atiş, C. D, 2016. Strength properties of slag/*fly ash* blends activated with sodium metasilicate and sodium hydroxide+silica fume, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 60(2), pp. 223–228. DOI: 10.3311/PPci.8270.

- Madhavi Ch, T., Swamy Raju, L. and Mathur, D, 2014. Durabilty and Strength Properties of High Volume *Fly ash* Concrete, *Journal of Civil Engineering Research*, 2014(2A), pp. 7–11. DOI: 10.5923/c.jce.201401.02.
- Nagaratnam, B. H. *et al*, 2015. Mechanical and durability properties of medium strength self-compacting concrete with high-volume *fly ash* and blended aggregates, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 59(2), pp. 155–164. DOI: 10.3311/PPci.7144.
- Prihantoro, T. F, 2015. Analisis Sifat Makanis Beton Mutu Tinggi dengan Memanfaatkan Teknologi High Volume *Fly ash* Concrete.
- Setiawati, M, 2018. *Fly ash* Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton, *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 17, pp. 1–8. Available at: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/3556>.
- SNI 03-2834-2000, 2000. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal, *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, pp. 1–34.
- SNI 1972-2008, 2008. SNI 1972:2008 Cara Uji Slump Beton, *Badan Standardisasi Nasional*, pp. 1–5.
- SNI 1974-2011, 2011. Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder, *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, p. 20.
- Sumajouw, M. D. J., Dapas, S. O. and Windah, R. S, 2014. Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi, *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4(4), pp. 215–218. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jime/article/view/7133>.
- Usrina, N., Aulia, T. B. and Muttaqin, M, 2018. Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Hybrid Dengan Substitusi Semen Dan Agregat Halus Serta Penambahan Nano Material Bijih Besi, *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, 1(1), pp. 179–188. doi: 10.24815/jarsp.v1i1.10368.