

PENGARUH SUBSTITUSI *STEEL SLAG* TERHADAP SIFAT MEKANIK *HIGH VOLUME FLY ASH-SELF COMPACTING CONCRETE* PADA VARIASI KONSENTRASI PERENDAMAN KLOORIDA

Nur Khotimah Handayani, Budi Darmawan, Fajar Listyo Adi Nugroho,

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

Email: nur.k.handayani@ums.ac.id

Abstrak

Beton merupakan material yang tepat digunakan dalam konstruksi di wilayah laut. Akan tetapi kandungan klorida dalam air laut merupakan salah satu faktor yang menyebabkan penurunan durabilitas beton. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh substitusi steel slag pada beton High Volume Fly Ash - Self Compacting Concrete (HVFA-SCC) terhadap variasi konsentrasi perendaman klorida ditinjau dari nilai kuat tekan dan kuat lentur. Konsentrasi klorida dalam perendaman memakai variasi 1%, 2%, 3%, 4%, dan air murni sebagai kontrol. Prosentase fly ash yang digunakan sebesar 50% dari total volume bahan pengikat dan prosentase steel slag sebesar 20% dari total volume agregat kasar. Pengujian beton segar meliputi slump flow dan L-Box. Pengujian kuat tekan dan kuat lentur dilakukan pada umur beton 28 hari setelah sampel beton direndam pada perendaman larutan klorida. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi steel slag sebesar 20% untuk mengganti agregat kasar pada HVFA-SCC menghasilkan beton segar dengan workability yang lebih tinggi dibanding menggunakan 100% kerikil. Substitusi steel slag pada HVFA-SCC tidak menurunkan nilai kuat tekan dan kuat lentur pada seluruh variasi konsentrasi perendaman klorida sehingga steel slag dapat digunakan sebagai alternatif pemanfaatan bahan limbah untuk substitusi bahan beton di area dengan serangan klorida.

Kata kunci: Sifat Mekanik Beton, HVFA-SCC, Steel Slag, Serangan Klorida,

Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur saat ini terus mengalami perkembangan yang sangat pesat. Sebagian besar infrastruktur menggunakan beton sebagai bahan pembentuknya, salah satu pembangunan yang dilakukan merupakan di daerah agresif (daerah laut) antara lain pelabuhan dan dermaga. Kontruksi di daerah laut mempunyai resiko yang sangat tinggi terhadap kerusakan apabila hanya dipakai beton biasa (Maryoto, 2009). Air yang mengandung unsur garam akan meresap melalui pori-pori beton dan lama kelamaan akan menembus sampai pada tulangan beton. Hal ini dapat menurunkan durabilitas beton akibat korosi dan pengroposan pada beton karena asam klorida bersifat korosif yang dapat menyerang sistem pengikat kalsium silikat dan dapat menyebabkan pengikisan terutama pada beton (Ikomudin dkk., 2016). Penggunaan beton dengan volume fly ash tinggi (*High Volume Fly Ash*) memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap serangan klorida dibanding beton normal dikarenakan permeabilitas klorida beton HVFA yang lebih rendah (Madhavi dkk., 2014). Teknologi beton HVFA dibuat menggunakan perencanaan beton SCC, sehingga menjadi konsep beton *High Volume Fly Ash Self-Compacting Concrete* (HVFA-SCC) (Murti dkk, 2018).

Self Compacting Concrete (SCC) atau beton-padat-mandiri dipilih dalam konstruksi di wilayah laut dikarenakan *Self Compacting Concrete* (SCC) memiliki sifat *high workability* yang dapat mengalir dan mengisi ke seluruh ruang bekisting melewati tulangan tanpa penggunaan vibrator untuk penggetar. Selain itu beton *self compacting concrete* (SCC) juga memiliki homogenitas yang tinggi sehingga tidak mudah terjadi segregasi atau pemisahan agregat. Dengan memiliki sifat mudah mengalir dan memiliki homogenitas yang tinggi, beton *self compacting concrete* (SCC) mampu menghasilkan beton dengan kekuatan yang lebih tinggi dan kemudahan dalam pengerjaan (Sharma dan Khan, 2017).

Penggunaan material agregat kasar secara terus menerus akan habis dan tidak dapat diperbaharui, permasalahan ini yang akan dicari alternatif penggantinya. Alternatif pengganti material digunakan limbah padat *steel slag* (Gambar 1). *Slag* merupakan limbah dari hasil pembuatan baja. *Slag* dapat digunakan sebagai bahan pengganti agregat kasar, dimana *steel slag* yang diproduksi memiliki sifat yang baik seperti agregat alami (Awoyera *et al.*, 2016). *Slag* sendiri mempunyai berat jenis lebih besar dibandingkan agregat alami, untuk itu penggunaan *slag* lebih efektif digunakan untuk kontruksi beton di lingkungan agresif.



Gambar 1. Fly ash (kiri) dan steel slag ukuran 20mm (kanan)

Bahan dan Metode Penelitian

Batasan-batasan masalah dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan *steel slag* dan *fly ash* pada beton *High Volume Fly Ash - Self Compacting Concrete* (HVFA-SCC) setelah dilakukan perendaman konsentrasi klorida, ditinjau dari nilai kuat tekan. Dengan persentase penambahan *fly ash* sebesar 50% sebagai substitusi agregat halus dan penambahan *steel slag* sebesar 20% sebagai substitusi agregat kasar. Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Perencanaan campuran beton menggunakan metode perbandingan proporsi. Pengujian beton segar meliputi pengujian *slump flow* untuk mengetahui nilai *flowability* dan pengujian *L-box* untuk mengetahui nilai *passing ability*. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 28 hari setelah dilakukan perendaman menggunakan variasi larutan klorida dan air sebagai kontrol.

Penelitian diawali dengan pemeriksaan material untuk mengetahui kualitas dari bahan. Dilanjutkan perencanaan campuran beton dan pembuatan benda uji dengan kuat tekan target sebesar 35 MPa. Benda uji yang telah dibuat selanjutnya dilakukan perendaman menggunakan larutan klorida 1%, 2%, 3%, 4% dan air sebagai kontrol. Setelah 28 hari dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat lentur. Hasil pengujian menjadi pembahasan dari penelitian yang kemudian dapat diketahui hasilnya dan dapat ditarik beberapa kesimpulan dan saran. Bahan yang digunakan seperti agregat halus, agregat kasar, *steel slag*, semen, dan *fly ash* berasal dari PLTU Rembang. Semua material tersebut sudah dilakukan uji kualitas sehingga memenuhi untuk digunakan dalam campuran beton. Proporsi campuran beton dapat dilihat pada Tabel 1. Benda uji HVFA-SCC S merupakan benda uji beton dengan *fly ash* 50% sebagai substitusi semen dan *steel slag* 20% sebagai substitusi agregat kasar dan sebagai pembanding dibuat benda uji HVFA-SCC T dengan *fly ash* 50% tanpa *steel slag*.

Tabel 1. Proporsi campuran beton per m³

Material	Jenis benda uji		Satuan
	HVFA-SCC S	HVFA-SCC T	
Semen	297,491	297,491	kg
Fly Ash	264,436	264,436	kg
Pasir	947,665	947,665	kg
Kerikil	581,235	726,543	kg
Steel Slag	153,924	-	kg
Air	163	163	liter
Superplasticizer	8,429	8,429	liter

Berdasarkan hasil perencanaan benda uji tersebut kebutuhan bahan material yang digunakan dalam pembuatan benda uji. Penyusunan proporsi campuran HVFA-SCC memiliki beberapa pertimbangan meliputi ukuran maksimal agregat kasar sebesar 2 cm, faktor-air-semen (fas) yang digunakan sebesar 0,31 dengan penggunaan *superplasticizer Sika Viscocrete 1003* dengan kadar 1,5 % untuk mendapatkan kondisi beton yang dapat mengalir dengan sendirinya (SCC).

Hasil dan Pembahasan

A. Pengujian Ikatan Awal Semen

Pengujian ikatan awal semen yang dilakukan untuk mengetahui waktu ikat awal semen pada saat sudah bereaksi dengan air dengan penurunan 25 mm. Bahan yang diuji dalam kondisi baik dan tidak menggumpal. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat uji *Vicat Apparatus* sesuai dengan metode uji menurut SNI 03-6827- 2002. Hasil pengujian ikatan awal semen dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa pengujian dengan menggunakan 100% semen mencatatkan waktu 66 menit, sedangkan waktu penurunan 25 mm sedang pada pengujian 50% semen dan 50% *fly ash* dengan waktu 105 menit. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dapat memperlambat waktu ikat awal, hal ini dikarenakan *fly ash* yang bersifat pozolan membutuhkan waktu lebih untuk bereaksi. Hasil ini senada dengan penelitian yang dilakukan oleh Antoni dkk., (2017), dalam penelitian yang dilakukan juga mendapatkan hasil bahwa penambahan *fly ash* pada campuran beton dapat memperlama waktu ikat awal semen. Meskipun proporsi campuran 50% semen dan 50% *fly ash* membutuhkan waktu lebih lama namun masih pada batas spesifikasi ikatan awal semen yaitu diantara 45-375 menit.

Tabel 2. Pengujian ikatan awal semen

Proporsi Campuran	Hasil	Spesifikasi	Kesimpulan
Semen 100%	66	45-375 menit	Memenuhi
Semen 50% + <i>fly ash</i> 50%	105	45-375 menit	Memenuhi

B. Pengujian Slump Flow dan L-Box

Pengujian *slump flow* dilakukan pada saat kondisi beton masih segar, sebelum dituangkan ke cetakan benda uji. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui *flowability* beton. Pengujian ini menggunakan kerucut Abram's sesuai dengan uji menurut EFNARC (2002). Hasil pengujian *slump flow* dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan hasil pengujian slump flow pada Tabel 3 beton HVFA-SCC S dengan substitusi *steel slag* 20% mendapatkan hasil *slump flow* yang lebih besar, selain disebabkan oleh penggunaan *superplasticizer* juga karena *steel slag* mempunyai kadar (absorpsi) penyerapan air yang lebih rendah. Hasil penelitian ini sama seperti penelitian Adiwijaya, (2018) bahwa penggunaan *steel slag* pada beton SCC mampu meningkatkan nilai *slump flow*. Hasil tersebut memenuhi persyaratan pengujian *Slum flow* yang diisyaratkan EFNARC (2002) adalah 650 mm - 800 mm.

Tabel 3. Hasil pengujian *slump flow* dan *L-box*

Jenis Sampel	Rata-rata nilai <i>slump flow</i> (mm)	Rata-rata nilai <i>Passing Ability</i>
HVFA-SCC-S	693,33	0,88
HVFA-SCC-T	658,33	0,81

Pengujian *L-Box* dilakukan pada saat kondisi beton masih dalam keadaan segar sebelum dituangkan ke cetakan benda uji. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai *passing ability*. Pengujian ini menggunakan alat *L-box* yang dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta. Hasil pengujian *L-box* dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3 didapatkan hasil pengujian *L-box* bahwa penambahan *steel slag* 20% pada beton HVFA-SCC menghasilkan nilai *passing ability* yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan waktu pemecahan *steel slag* dari bongkah menjadi agregat ukuran maksimal 20 mm di lakukan secara manual, ukuran butiran yang lebih kecil membuat kemampuan campuran beton untuk melewati tulangan menjadi lebih baik selain itu juga disebabkan nilai keausan *steel slag* lebih tinggi dari agregat kasar. Hasil tersebut memenuhi persyaratan pengujian *L-box* yang diisyaratkan EFNARC (2002) batasan nilai yang diisyaratkan antara 0.8-1.0.

C. Penampakan Benda Uji Beton setelah Perendaman

Penampakan benda uji beton yang telah mengalami perendaman larutan klorida dapat dilihat pada Gambar 3 (kanan). Terlihat bahwa beton dengan perendaman larutan klorida memiliki warna lebih kecoklatan dibandingkan dengan beton yang direndam air biasa (kiri). Permukaan beton dengan perendaman larutan klorida juga lebih rapuh dan mudah terkelupas (*spalling*). Pengaruh perendaman klorida sangat terlihat jelas mampu menurunkan durabilitas beton dan peningkatan persentase klorida dalam rendaman semakin memperburuk permukaan beton.

D. Pengujian Kuat Tekan

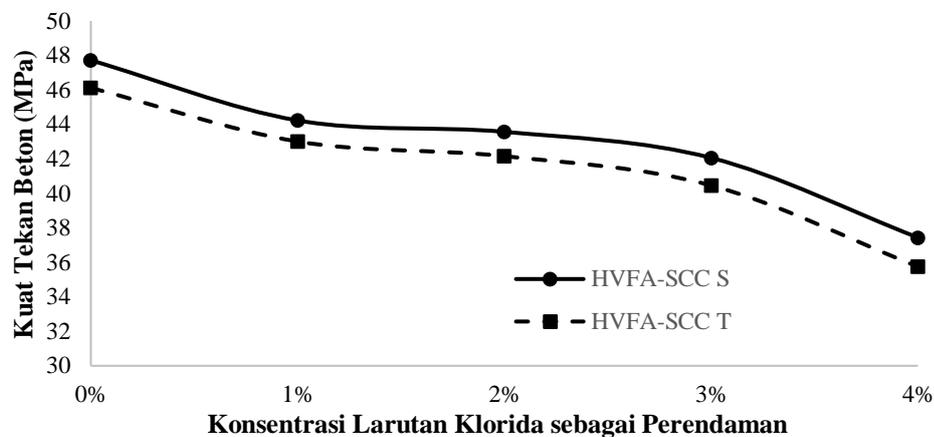
Pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan alat uji *Compression Testing Machine* (CTM). Benda uji berbentuk silinder berukuran 15 cm x 30 cm pada umur 28 hari. Pengujian kuat tekan dilakukan setelah benda uji melewati proses *curing*/perendaman beton. Metode uji yang dilakukan sesuai dengan SNI 1974-2011. Hasil dari pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 3. Benda uji beton setelah direndam air (kiri) dan benda uji beton setelah direndam larutan klorida (kanan)

Tabel 4. Hasil pengujian kuat tekan beton

Jenis Perendaman	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	
	HVFA-SCC S	HVFA-SCC T
Air	47,72	46,12
Klorida 1%	44,23	43,01
Klorida 2%	43,57	42,16
Klorida 3%	42,06	40,46
Klorida 4%	37,44	35,75



Gambar 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 2 dan terlihat kuat tekan beton tertinggi umur 28 hari terdapat pada sampel HVFA-SCC S dengan perendaman air yaitu sebesar 50,36 MPa dengan rata-rata nilai kuat tekan sebesar 47,72 MPa, sedangkan kuat tekan terendah terdapat pada sampel HVFA-SCC T dengan perendaman klorida 4% yaitu sebesar 30,56 MPa dengan rata-rata kuat tekan sebesar 35,75 MPa. Berdasarkan grafik, perendaman menggunakan air beton HVFA-SCC S dengan substitusi *steel slag* 20% mendapatkan nilai kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan beton HVFA-SCC T tanpa *steel slag*. Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Pandiangan dan Karolina (2015) penambahan *steel slag* dapat meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan beton normal. Hal ini sejalan dengan penelitian Indriani dan Awaludin (2018) yang menunjukkan keberadaan *steel slag* meningkatkan kuat tekan beton.

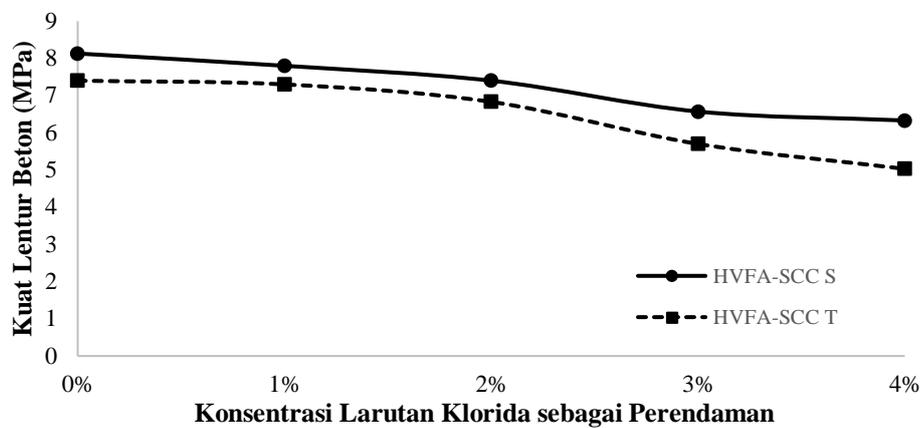
Berdasarkan hasil pengujian beton HVFA-SCC umur 28 hari pada Tabel 5 dan Gambar 4 dengan variasi perendaman larutan klorida 1%, 2%, 3%, dan 4% mengalami penurunan kuat tekan beton, akan tetapi penggunaan *steel slag* pada beton HVFA-SCC mendapatkan nilai kuat tekan lebih tinggi dibanding beton HVFA-SCC tanpa *steel slag*.

E. Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur yang dilakukan menggunakan benda uji berbentuk balok dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm. Pengujian dilakukan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM).

Tabel 5. Hasil pengujian kuat lentur

Jenis Sampel	Perendaman	Kuat lentur rata-rata (MPa)
HVFA-SCC-S (dengan <i>steel slag</i>)	Air	8,13
	1% Klorida	7,8
	2% Klorida	7,4
	3% Klorida	6,57
	4% Klorida	6,33
HVFA-SCC-T (tanpa <i>steel slag</i>)	Air	7,4
	1% Klorida	7,3
	2% Klorida	6,83
	3% Klorida	5,7
	4% Klorida	5,03



Gambar 4. Hasil Pengujian Kuat Lentur

Berdasarkan Tabel 6 dan Gambar 4 didapatkan hasil nilai kuat lentur dari masing-masing sampel beton. Nilai kuat lentur dari masing-masing jenis sampel beton menurun seiring dengan persentase klorida sebagai perendaman baik beton dengan *steel slag* maupun tanpa *steel slag*. Sampel beton yang direndam pada konsentrasi klorida langsung bereaksi dengan klorida. Sampel beton mengalami kehilangan bahan penyusun. Agregat halus mengalami pemisahan pada beton. Pemisahan agregat halus pada sampel beton menyebabkan beton mengerosi sehingga mengalami kehilangan sebagian kekuatan beton. Beton yang direndam dengan konsentrasi klorida cenderung berwarna putih. Pada perendaman air murni, beton masih dalam keadaan utuh dan tidak terjadi pemisahan bahan penyusun.

Substitusi 20% *steel slag* pada beton HVFA-SCC memberikan nilai kuat lentur yang lebih besar dibanding dengan beton HVFA-SCC tanpa *steel slag*. Beton dengan *steel slag* memiliki nilai kuat lentur yang lebih tinggi dikarenakan *steel slag* memiliki nilai berat jenis yang lebih tinggi. Penggunaan *steel slag* mampu menurunkan rangkakan (*creep*), sehingga beton lebih tahan dari resapan ion agresif dan memperkecil kehilangan kekuatan. Hal ini senada pada penelitian sebelumnya yang dilakukan Maslehudin (2003) menyatakan bahwa penggantian kerikil dengan *steel slag* meningkatkan kuat lentur. Pernyataan serupa dikatakan Pandiangan dan Karolina (2015) bahwa penggantian kerikil dengan *steel slag* sebagai agregat kasar mampu meningkatkan kapasitas kuat lentur beton.

Berdasarkan pengujian bahan sampai dengan pengujian sifat mekanis benda uji dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan *steel slag* pada HVFA-SCC dapat digunakan sebagai alternatif pemanfaatan bahan limbah untuk beton di area dengan serangan klorida yang cukup tinggi. Hal ini didukung dari hasil pengujian beton bahwa substitusi *steel slag* pada HVFA-SCC tidak menunjukkan penurunan sifat mekanik (justru dapat meningkatkan nilai sifat mekanik walau tidak signifikan) pada berbagai variasi persentase perendaman klorida.

Kesimpulan dan Saran

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan *steel slag* pada beton *High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete* dapat meningkatkan *flowability* dan *workability* beton pada pengujian *slump flow test* dan *l-box* pada beton segar.
2. Penggunaan *steel slag* 20% pada *High Volume Fly Ash* dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur beton namun tidak terlalu signifikan pada semua jenis perendaman.
3. Penambahan *steel slag* pada HVFA-SCC dapat digunakan sebagai alternatif pemanfaatan bahan limbah untuk beton di area dengan serangan klorida yang cukup tinggi.

B. Saran

Penelitian ini yang telah dilakukan tentunya memerlukan berbagai pengembangan kedepannya, untuk itu pada penelitian ini diperlukan saran untuk penelitian selanjutnya supaya pengembangan penelitian ini menjadi lebih baik. Adapun saran-saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Perawatan benda uji dengan *curing* menggunakan larutan konsentrasi klorida agar ditutup dengan rapat supaya tidak terjadi penguapan.
2. Perlu dilakukan pengujian beton pada umur 56 hari dan 90 hari sebagai lanjutan dari penelitian ini.
3. Perlu pengujian kandungan zat berbahaya dalam limbah *steel slag* agar dapat dipakai sebagai bahan konstruksi secara langsung.

Daftar Pustaka

- Antoni, Widiyanto, A. K., Wiranegara, J. L. Hardjito, Djwantoro (2017), 'Consistency of fly ash quality for making high volume fly ash concrete', *Jurnal Teknologi*, 79(7-2), pp. 13-20. doi: 10.11113/jt.v79.11870.
- Awoyera, P. O. et al. (2016) 'Jurnal Teknologi C ONCRETE WITH VARIED WATER - CEMENT RATIO', 10, pp. 125-131.
- EFNARC, (2002), Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete, Report from EFNARC, 44 (February) ,32.
- Ikomudin, R. A., Herbudiman, B. and Irawan, R. R., (2016), 'Ketahanan Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash terhadap Sulfat dan Klorida', *Jurusan Teknik Sipil Itenas*, Vol.2(No.4), pp. 33-43.
- Indriani K, Awadulin A., (2018), *Influence Of Copper Slag as Partial Replacment of Fine Agregat in Concrete Against Chloride Attack*, Doctoral dissertation, Univeritas Gadjah Mada.
- Madhavi, T. C., Raju, L. S. and Mathur, D., (2014), 'Durability and Strength Properties of High Volume Fly Ash Concrete', *Journal of Civil Engineering Research*, 4(2A), pp. 7-11. doi: 10.5923/c.jce.201401.02.
- Maryoto, A. (2009) 'Penurunan Nilai Absorbansi Dan Abrasi Beton Dengan Penambahan Calcium Stearate Dan Fly Ash', *Media Teknik Sipil*, 9, pp. 15-19.
- Maslehuddin, M., Sharif, A. M., Shameem, M., Ibrahim, M., & Barry, M. S., (2003), Comparison of properties of steel slag and crushed limestone aggregate concretes. *Construction and Building Materials*, 17(2), 105-112.
- Murti, H. P., Budi, A. S. and Sunarmasto, S. (2018) 'Pengaruh Kadar Fly Ash terhadap Kuat Tekan pada High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete (HVFA-SCC) pada Usia 90 Hari', *e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL*, 6(3).
- Pandiangan, J., & Karolina, R., (2016), Pengaruh Penggunaan Steel Slag Sebagai Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan dan Lentur Pada Beton Bertulang Dibandingkan dengan Beton Normal. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Sharma, R., Khan, R.A. (2017), Sustainable use of copper slag in self compacting concrete containing supplementary cementitious materials, *Journal of Cleaner Production*, Volume 151, 2017, Pages 179-192, ISSN 0959-6526
- SNI 03-6827-2002 (2002). Metode pengujian waktu ikat awal semen portland dengan menggunakan alat vicat untuk pekerjaan sipil, Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1974-2011 (2011), Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder, Badan Standardisasi Nasional Indonesia.
- SNI 4431:2011 (2011), Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan, Badan Standardisasi Nasional Indonesia.