

Studi Kuat Tekan Beton SCC dengan Variasi Fly Ash dan Sika Viscocrete pada Perendaman Air Laut

Gama Nurhickmah^{1*}, Anggi Rahmad Zulfikar²

¹ Mahasiswa D4 Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

² Dosen D4 Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

Alamat Kampus: Jl. Ketintang, Kec. Gayungan, Surabaya, Jawa Timur

Korespondensi penulis: gama.20074@mhs.unesa.ac.id

Abstract. *The durability of Self-Compacting Concrete (SCC) containing fly ash and Sika Viscocrete can be affected by exposure to seawater. This research investigates how seawater curing impacts the compressive strength of SCC modified with varying fly ash content and Sika Viscocrete admixture. The concrete mixtures were designed with 0% and 30% fly ash by cement weight and a constant 1% dosage of Sika Viscocrete. Compressive strength tests were conducted at 7, 14, and 28 days. The findings indicate that seawater curing has a notable effect on compressive strength, producing generally higher strength values than those cured in freshwater. Under freshwater conditions, strength increased steadily at 14 and 28 days, peaking at 54.1 MPa with 30% fly ash at 28 days. Conversely, the highest strength under seawater curing was achieved earlier, at 7 days, also with 30% fly ash, reaching 56.1 MPa. Overall, the optimum compressive strength was attained with a 30% fly ash mixture cured in seawater, suggesting this method enhances early-age strength in SCC.*

Keywords: *SCC concrete, fly ash, Sika Viscocrete, seawater immersion, compressive strength.*

Abstrak. Ketahanan beton Self-Compacting Concrete (SCC) yang mengandung fly ash dan Sika Viscocrete dapat dipengaruhi oleh proses perendaman dalam air laut. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh perendaman air laut terhadap kuat tekan beton SCC dengan variasi kadar fly ash dan penambahan admixture Sika Viscocrete. Campuran beton yang digunakan terdiri dari fly ash sebesar 0% dan 30% dari berat semen, serta Sika Viscocrete sebesar 1%. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 7, 14, dan 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perendaman air laut memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kuat tekan beton, dengan nilai yang umumnya lebih tinggi dibandingkan beton yang direndam dalam air tawar. Pada perendaman air tawar, kuat tekan meningkat secara bertahap pada usia 14 dan 28 hari, dengan nilai tertinggi sebesar 54,1 MPa pada campuran fly ash 30% di usia 28 hari. Sementara itu, perendaman air laut menunjukkan nilai kuat tekan tertinggi lebih awal, yaitu pada usia 7 hari dengan campuran fly ash 30% mencapai 56,1 MPa. Secara keseluruhan, nilai kuat tekan optimum diperoleh dari beton dengan campuran fly ash 30% yang direndam dalam air laut, yang menunjukkan efektivitas metode curing tersebut terhadap kekuatan awal beton SCC.

Kata Kunci: beton SCC, fly ash, Sika Viscocrete, perendaman air laut, kuat tekan.

1. LATAR BELAKANG

Infrastruktur bangunan air memiliki peran krusial dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan pembangunan fisik. Sebagai negara kepulauan dan agraris, Indonesia sangat bergantung pada keberadaan bangunan air untuk menunjang aktivitas masyarakat. Pelabuhan, jembatan, dan bendungan merupakan contoh infrastruktur yang berinteraksi langsung dengan lingkungan perairan dan memegang peranan penting dalam mobilitas dan distribusi sumber daya. Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji pengaruh media perawatan beton terhadap sifat mekanisnya. Salah satunya dilakukan oleh Hunggurami et al. (2014) yang mengevaluasi efek perawatan menggunakan air laut terhadap kuat tekan dan daya serap beton, meskipun masih terbatas pada beton konvensional tanpa bahan tambahan. Seiring

berkembangnya teknologi material, kebutuhan akan inovasi beton yang tidak hanya kuat, tetapi juga efisien, berkelanjutan, dan tahan lama menjadi semakin mendesak. Self Compacting Concrete (SCC) hadir sebagai salah satu solusi inovatif, yaitu beton yang mampu memadat secara mandiri tanpa bantuan alat pemadat, serta efektif diterapkan pada struktur kompleks dengan kepadatan tulangan tinggi.

2. KAJIAN TEORITIS

Beton merupakan material campuran semen, agregat halus dan kasar, serta air, yang dapat ditambah bahan aditif untuk meningkatkan kualitasnya. Beton tanpa tulangan memiliki kekuatan tekan tinggi, namun kekuatan tariknya rendah, sehingga rentan terhadap retak akibat beban lentur.

Self Compacting Concrete (SCC) hadir sebagai inovasi beton modern yang mampu mengalir dan memadat sendiri tanpa alat getar, menjadikannya cocok untuk struktur bertulang rapat (Hadipramana & Putra, 2021). Komposisi beton juga dapat ditingkatkan dengan penambahan fly ash, limbah pembakaran batu bara, yang memiliki potensi sebagai bahan pengganti sebagian semen karena sifat reaktif dan ramah lingkungannya (Pangestu, 2021).

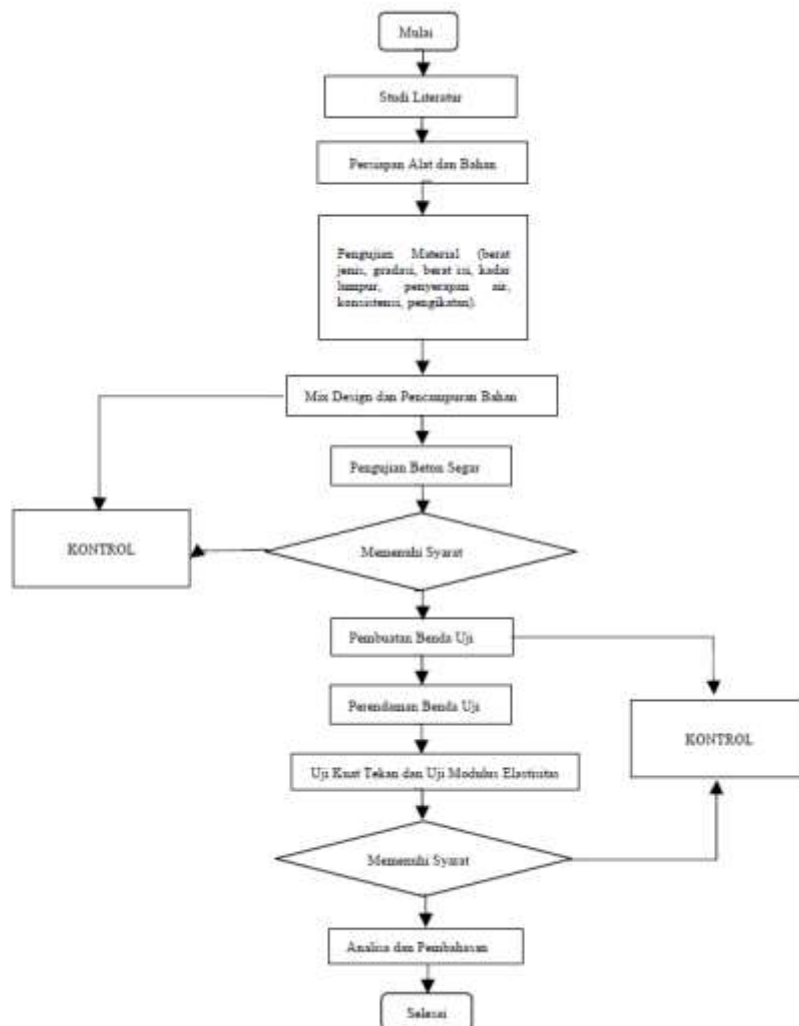
Selain itu, admixture seperti Sika Viscocrete 8048 berfungsi untuk meningkatkan performa beton, terutama dalam hal kekuatan tekan (Jepriani et al., 2022). Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh perendaman air laut terhadap kuat tekan beton SCC dengan variasi fly ash (0% dan 30%) serta penggunaan Sika Viscocrete sebesar 1%.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen dengan benda uji berupa beton silinder berukuran 150 mm × 300 mm yang dibuat dari campuran Self Compacting Concrete (SCC) dengan variasi penambahan fly ash dan Sika Viscocrete. Tiga jenis campuran digunakan, dengan fly ash sebagai bahan tambahan dan superplasticizer sebesar 1%.

Mengacu pada Nurtanto et al. (2021), variabel yang diteliti meliputi: variabel bebas (komposisi fly ash dan Sika Viscocrete), variabel terikat (nilai slump, kuat tekan, dan modulus elastisitas), serta variabel kontrol seperti rasio air-semen, ukuran agregat maksimum, umur beton, jenis semen, dan metode curing. Perawatan dilakukan dengan perendaman menggunakan air laut dan air tawar selama 7, 14, dan 28 hari, dilanjutkan dengan pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas.

Pengujian dilakukan di Laboratorium PT. Solusi Bangun Beton Surabaya. Analisis data bersifat kuantitatif, menggunakan metode deskriptif untuk membandingkan nilai kuat tekan antara beton yang direndam dalam air laut dan air tawar. Hasil diolah dan disajikan secara naratif menggunakan software pendukung analisis deskriptif.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini fokus pada pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton. Sebelum kedua pengujian utama dilakukan, terlebih dahulu dilakukan evaluasi kualitas material penyusun. Setiap material dalam campuran beton diuji untuk memastikan pencapaian target kuat tekan sebesar 40 MPa (f'_c).

Uji Agregat Halus

Pengujian terhadap agregat halus meliputi pengujian berat jenis, distribusi gradasi, berat isi, kandungan lumpur, serta daya serap air

1. Berat Jenis Agregat Halus

Pengujian berat jenis agregat halus bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenisnya, dengan membandingkan massa sebelum dan setelah kondisi SSD (Saturated Surface Dry).

Tabel 1. Data Percobaan Berat jenis Agregat Halus

Deskripsi	Kode	Satuan	Hasil
Berat Sample (ssd)	S	gram	500
Berat Pynometer + Sample + Air	C	gram	997
Berat Picnometer + Air	B	gram	677.3

$$\text{Berat Jenis (ssd)} = \frac{S}{(B+S-C)} = \frac{500}{(677.3+500-997)} = 2.77 \text{ gram}$$

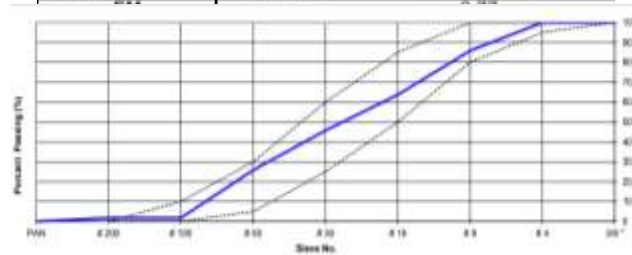
Menurut ASTM C.128, berat jenis agregat halus idealnya berada pada kisaran 2,4–2,7 gr/dm³. Hasil pengujian menunjukkan nilai 2,77 gr/dm³ yang masih dapat diterima untuk keperluan desain campuran, sehingga dianggap sesuai dengan kriteria standar.

2. Gradasi Agregat Halus

Uji gradasi agregat memiliki fungsi untuk mengetahui analisa ayakan dari agregat halus.

Tabel 2. Data Percobaan Gradasi Agregat Halus

ASTM SIEVE		Weight Retained	Accumul. Retained	Accumul. Retained	Passing
Inch/No.	mm	(gr)	(gr)	(%)	(%)
3/8 "	9.5	0	0	0.0	100.0
# 4	4.75	0	0	0.0	100.0
# 8	2.36	200	200	14.2	85.8
# 16	1.18	311	511	36.3	63.7
# 30	0.60	253.5	764.5	54.2	45.8
# 50	0.30	280.7	1045.2	74.1	25.9
# 100	0.15	338.6	1383.8	98.2	1.8
# 200	0.075	0	1383.8	98.2	1.8
PAN		25.8	1409.6	100.0	0.0
TOTAL		1409.6			



Gambar 1. Grafik Ayakan Agregat Halus

Pada penelitian tersebut menggunakan pasir lumajang yang termasuk dalam zona 2 yang bertekstur agak kasar. Pasir Lumajang ini memiliki modulus kehalusan sebesar 2.77%. Berdasarkan pengujian gradasi agregat halus ini diketahui bahwa hasil tersebut telah/memenuhi ASTM C.136.

3. Berat Isi Agregat Halus

Uji berat isi agregat halus ini memiliki fungsi untuk membandingkan berat atau volume agregat dengan wadah atau tabung yang diisi.

Tabel 3. Data Percobaan Berat Isi Agregat Halus

Deskripsi	Kode	Satuan	Compact	Loose	Rata-rata
Massa Sampel	A	gram	12000	10944	11472
Volume Silinder	B	gram	6950	6950	16950
Berat Isi =		gr/cm^3	1.73	1.57	1.65

Berdasarkan pengujian berat isi agregat halus ini diketahui bahwa rata – rata hasil berat isi tersebut 1.65 gr/cm³. Hasil tersebut telah / memenuhi ASTM C.29.

4. Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian kadar lumpur pada agregat halus bertujuan untuk mengukur persentase kandungan partikel halus (lumpur) yang terdapat di dalamnya.

Tabel 4. Data Percobaan Kadar Lumpur Agregat Halus

Deskripsi	Kode	Satuan	Hasil
Massa Sampel sebelum di cuci	B	gram	500.0
Massa sampel sesudah dicuci	C	gram	496.0

Kadar lumpur dibanding 75 μ (No.200) setelah dicuci

$$= ((B-C)/B) \times 100 \%$$

$$= ((500-496)/500) \times 100 \% = 0.80\%$$

Dalam ASTM C.128 kadar lumpur dari agregat halus tersebut maksimum 5%. Agregat halus jenis ini layak digunakan untuk campuran beton, karena memiliki kadar lumpur dibawah 5%. Berdasarkan pengujian kadar lumpur agregat halus ini diketahui bahwa hasil kadar lumpur tersebut 0.80%. Hasil tersebut telah / memenuhi ASTM C.128.

5. Penyerapan Air Agregat Halus

Uji Penyerapan air berfungsi untuk mengetahui seberapa besar air yang terserap dalam agregat halus.

Tabel 5. Data Percobaan Penyerapan Air Agregat Halus

Deskripsi	Kode	Satuan	Hasil
Berat Sample (ssd)	S	gram	500
Berat sampel setelah di oven	A	gram	495

$$\begin{aligned}\text{Penyerapan air (Absorpsi)} &= ((S-A))/A \times 100 \\ &= ((500-495))/500 \times 100 \\ &= 1.01\%\end{aligned}$$

Dalam ASTM C.117 penyerapan air tidak boleh atau maksimum 3%. Berdasarkan pengujian penyerapan air agregat halus ini diketahui bahwa hasil penyerapan air tersebut 1.01%. Hasil tersebut telah / memenuhi ASTM C.117.

Uji Agregat Kasar

Pengujian terhadap agregat kasar mencakup pengujian berat jenis, gradasi butiran, berat isi, kadar lumpur, serta kemampuan penyerapan air.

1. Berat Jenis Agregat Kasar

Uji berat jenis agregat kasar (Split 12-25) ini memiliki fungsi untuk mengetahui berat jenis sebelum ssd dan setelah ssd.

Tabel 6. Data Percobaan Berat jenis Agregat Halus

Deskripsi	Kode	Satuan	Hasil
Berat Sample di air	C	gram	1788
Berat Sample kondisi ssd	B	gram	2830

$$\text{Berat Jenis (ssd)} = \frac{B}{(B-C)} = \frac{2830}{(2830-1788)} = 2.72 \text{ gram}$$

Berdasarkan pengujian berat jenis agregat kasar (Split 12-25) ini diketahui bahwa hasil berat jenis tersebut 2.72 gram. Dalam ASTM C.127 berat jenis agregat kasar yaitu 2.4-2.8 gr/cm³. Hasil tersebut telah/ memenuhi ASTM C.127

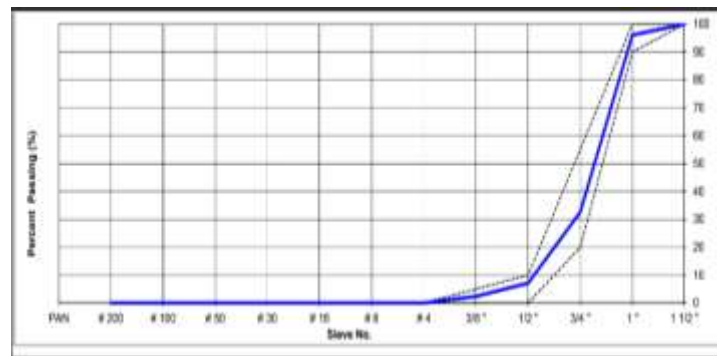
2. Gradasi Agregat Kasar

Uji gradasi agregat kasar (Split 12-25) memiliki fungsi untuk mengetahui analisa ayakan dari agregat kasar tersebut:

Tabel 7. Data Percobaan Gradasi Agregat Kasar (Split 12-25)

ASTM SIEVE*		Weight Retained	Accumul. Retained	Accumul. Retained	Passing
Inch/No.	mm	(gr)	(gr)	(%)	(%)
1 1/2 "	38.1	0	0	0.0	100.0
1 "	25	125.1	125.1	3.9	96.1
3/4 "	19	2031	2156.1	67.5	32.5
1/2 "	12.5	812.3	2968.4	92.9	7.1
3/8 "	9.5	152	3120.4	97.6	2.4
# 4	4.75	75	3195.4	100.0	0.0
# 8	2.36	0	3195.4	100.0	0.0
# 16	1.18	0	3195.4	100.0	0.0
# 30	0.60	0	3195.4	100.0	0.0
# 50	0.30	0	3195.4	100.0	0.0
# 100	0.15	0	3195.4	100.0	0.0
# 200	0.075	0	3195.4	100.0	0.0
PAN		1	3196.4	100.0	0.0
TOTAL		3196.4			
FM				7.65	

* Test method refer to ASTM C136



Gambar 2. Grafik Ayakan Agregat Halus

Agregat kasar yang digunakan berasal dari daerah Lumajang dan diklasifikasikan dalam zona 5, dengan nilai modulus kehalusan sebesar 7,65%. Hasil gradasi menunjukkan bahwa agregat tersebut memenuhi ketentuan standar ASTM C.136.

3. Berat Isi Agregat Kasar

Uji berat isi agregat halus ini memiliki fungsi untuk mengetahui perbandingan berat atau volume agregat dengan wadah atau tabung yang diisi.

Tabel 8. Data Percobaan Berat Isi Agregat Kasar

Deskripsi	Kode	Satuan	Compact	Loose	Rata-rata
Massa Sampel	A	gram	11888	9555	10721.5
Volume Silinder	B	gram	6950	6950	6950
Berat Isi =		gr/cm^3	1.71	1.37	1.54

Berdasarkan pengujian berat isi agregat kasar (Split 12-25) ini diketahui bahwa rata – rata hasil berat isi tersebut 1.54 gr/cm³ . Hasil tersebut telah / memenuhi ASTM C.29.

4. Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pengujian kadar lumpur pada agregat kasar (Split 12–25) dilakukan untuk mengetahui persentase kandungan partikel halus yang terdapat dalam material tersebut.

Tabel 9. Data Percobaan Kadar Lumpur Agregat Kasar

Deskripsi	Kode	Satuan	Hasil
Massa Sampel sebelum di cuci	B	gram	500.0
Massa sampel sesudah dicuci	C	gram	495.0

Kadar lumpur dibanding 75 μ (No.200) setelah dicuci

$$= (((B-C))/B) \times 100 \%$$

$$= ((500-495)/500) \times 100\% = 1.00\%$$

Sesuai dengan standar ASTM C.128, batas maksimum kadar lumpur pada agregat kasar (Split 12–25) adalah 1%. Hasil pengujian menunjukkan nilai sebesar 1,00%, yang berarti masih berada dalam ambang batas dan dinyatakan memenuhi standar tersebut.

5. Penyerapan Air Agregat Kasar

Uji Penyerapan air pada agregat kasar (Split 12-25) berfungsi untuk mengetahui seberapa besar air yang terserap dalam agregat kasar tersebut.

Tabel 10. Data Percobaan Penyerapan Air Agregat Kasar

Deskripsi	Kode	Satuan	Hasil
Berat Sample (ssd)	S	gram	500
Berat sampel setelah di oven	A	gram	495

$$\begin{aligned}
 \text{Penyerapan air (Absorpsi)} &= ((S-A))/A \times 100 \\
 &= ((500-495))/500 \times 100 \\
 &= 1.01\%
 \end{aligned}$$

Uji Semen

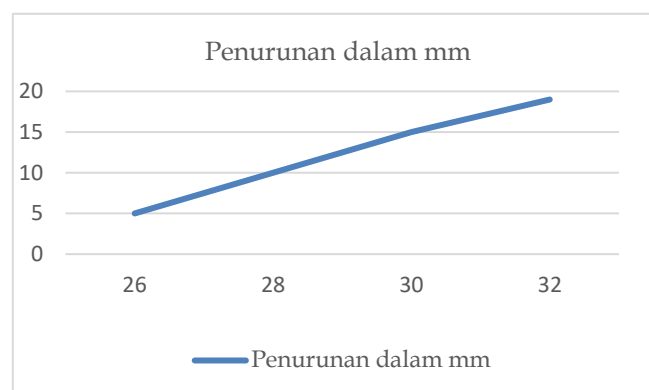
Hasil dari serangkaian pengujian material menunjukkan karakteristik fisik dan mekanis dari semen yang digunakan. Pengujian terhadap semen meliputi uji konsistensi normal, waktu ikat, dan berat jenis.

1. Uji Konsistensi Semen

Pengujian konsistensi bertujuan untuk mengetahui jumlah air yang diperlukan agar semen mencapai tingkat konsistensi normal.

Tabel 11. Data Percobaan Uji Konsistensi Semen

Kadar Air (%)	Kadar Air (CC)	Penurunan (mm)
26	65	9,5
30	75	14,5



Gambar 3. Grafik Prosentase Air & Penurunan Jarum Vicat

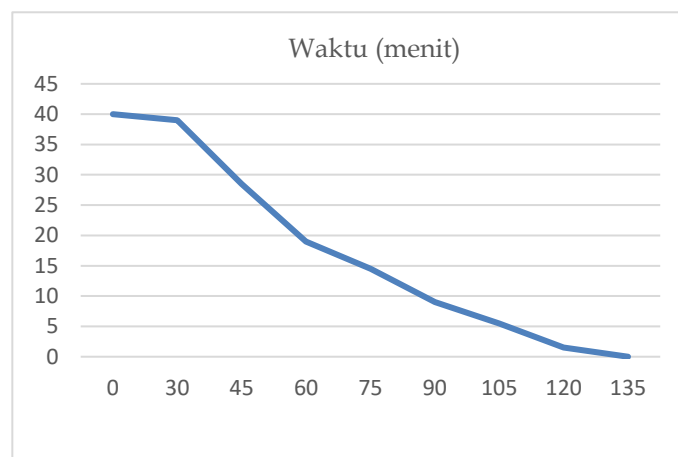
Dari grafik didapatkan bahwa penurunan 10 mm kadar air sebesar 28,4%. Berdasarkan uji ini hasil tersebut telah memenuhi SNI 2049:2015.

2. Waktu Ikat Semen

Pengujian ini yang berguna untuk mencari nilai waktu ikat beton segar. Penelitian ini dilakukan selama dua menit.

Tabel 12. Waktu Ikat Semen (Mix. Pada pukul 15.30)

Menit ke	Penetrasi (mm)
0	40
30	39
45	28.5
60	19
75	14.5
90	9
105	5.5
120	1.5
135	0



Gambar 4. Grafik Waktu Ikat Semen

Waktu ikat semen terdiri dari dua tahapan, yaitu waktu ikat awal dan waktu ikat akhir. Pengujian ini hanya dapat dilakukan setelah konsistensi normal semen tercapai. Mengacu pada SNI 15-2049-2004, waktu ikat awal minimum adalah 30 menit, sedangkan waktu ikat akhir tidak boleh melebihi 375 menit.

3. Berat Jenis Semen

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat isi semen tersebut.

Tabel 13. Data Percobaan Berat jenis semen

Berat Picnometer kosong	W = 93,6 gram
Berat Portland semen	A = 125 gram
Berat Picnometer + Minyak Tanah	B = 292,4 gram
Berat Picnometer + Minyak Tanah + PC	C = 383,2 gram
Berat Jenis Minyak Tanah	$\gamma' = 0,80$ gram/cc

$$\begin{aligned}\text{Berat Jenis Portland Cement} &= (0,8 \times A) / (125 - (C - B)) \\ &= (0,8 \times 125) / (125 - (383,2 - 292,4)) \\ &= 2,92 \text{ gr/cc}\end{aligned}$$

Dalam SNI 15-2531-1991 berat jenis semen disyaratkan berkisar antara 3.00 – 3.20 t/m³. Berdasarkan pengujian berat jenis semen ini diketahui bahwa hasil tersebut memenuhi SNI 15-2531-1991.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Pengujian menunjukkan bahwa beton SCC dengan penambahan fly ash 30% dan Sika Viscocrete mencapai kuat tekan optimum pada perendaman air laut selama 28 hari sebesar 56,1 MPa, sedikit lebih tinggi dibanding perendaman air tawar sebesar 54,1 MPa. Nilai slump flow juga meningkat seiring bertambahnya kadar fly ash, dengan rentang 520–525 mm pada fly ash 30%, menunjukkan workability yang baik dan sesuai dengan standar SNI 03-6862-2002. Secara keseluruhan, beton SCC dengan campuran fly ash 30% memiliki performa mekanis yang baik, terutama ketika dilakukan curing menggunakan air laut. Hal ini menunjukkan bahwa beton SCC berpotensi digunakan dalam konstruksi yang terpapar lingkungan laut.

Penelitian ini menyarankan penggunaan fly ash tipe C sebesar 30% sebagai substitusi sebagian semen pada beton SCC untuk meningkatkan kekuatan dan durabilitas, terutama pada struktur di daerah pesisir atau laut. Untuk penelitian lanjutan, disarankan mengevaluasi pengaruh perendaman jangka panjang (>28 hari) dan menganalisis aspek durabilitas lainnya seperti permeabilitas, korosi tulangan, dan perubahan mikrostruktur beton.

DAFTAR REFERENSI

- Alhozaimy, A., & Fares, G. (2022). Effect of Sika Viscocrete admixture on fresh and hardened properties of SCC. *Journal of Building Engineering*, 45, 103523. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103523>
- Bhattacharjee, B., & Barai, S. V. (2019). Durability of self-compacting concrete using mineral admixtures in marine conditions. *Materials Today: Proceedings*, 17(3), 731–737. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.104>
- Hadipramana, J., & Putra, D. W. (2021). Dampak bahan tambah abu sekam padi (ASP) dan variasi potongan serat polypropylene (PP) terhadap kekuatan beton self compacting concrete (SCC). Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Hapsari, S. P. (2017). Kajian pengaruh variasi komposisi silica fume terhadap parameter beton memadat mandiri dengan kuat tekan beton mutu tinggi. (Unpublished undergraduate thesis).
- Hartini, H. (2017). Analisa mikrostruktur beton dengan air laut sebagai air pencampur dan air perendaman. *Jurnal MEDIA INOVASI Teknik Sipil Unidayan*, 6(1), 65–72.
- Hunggurami, E., Utomo, S., & Wadu, A. (2014). Pengaruh masa perawatan (curing) menggunakan air laut terhadap kuat tekan dan absorpsi beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 3(2), 103–110. <https://doi.org/10.35508/jts.3.2.103-110>
- Hussain, I., & Ahmed, S. (2018). Role of superplasticizers in enhancing strength and durability of marine concrete. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCET)*, 9(7), 1010–1017.
- Jadhav, A., & Patil, S. (2021). Influence of fly ash on compressive strength of self-compacting concrete in marine environment. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 10(5), 100–105.
- Li, G., & Zhao, X. (2020). Strength development of SCC with fly ash under marine curing conditions. *Ocean Engineering*, 216, 107646. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107646>
- Nurtanto, D., Rahayu, A. A., & Wahyuningtyas, W. T. (2021). Pengaruh perawatan air laut dan air tawar terhadap kuat tekan beton geopolimer yang memadat sendiri. (Unpublished research paper).
- Özkan, Ö., & Gencel, O. (2020). Mechanical and durability properties of self-compacting concrete containing recycled aggregates and fly ash. *Journal of Cleaner Production*, 250, 119492. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119492>
- Pangestu, F. A. (2021). Studi perbandingan penggunaan 3 merk semen dengan menggunakan fly ash terhadap mutu beton. Universitas Islam Lamongan. (Unpublished undergraduate thesis).
- Purwati, A., As'ad, S., & Sunarmasto, S. (2014). Pengaruh ukuran butiran agregat terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton kinerja tinggi grade 80. *Matriks Teknik Sipil*, 2(2), 58–63.

- Singh, R., & Siddique, R. (2020). Effect of seawater curing on the mechanical performance of SCC incorporating fly ash. *Construction and Building Materials*, 246, 118512. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118512>
- SNI 03-2834-2000. (2000). Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal (SNI 03-2834-2000). Badan Standardisasi Nasional.
- Zhang, Y., & Gao, J. (2021). Performance of SCC with high volume fly ash exposed to aggressive environments. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00786. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00786>