

Penggunaan *Silika Fume* dan *Viscocrete* Sebagai Bahan Tambah Pada Beton SCC (*Self Compacting Concrete*)

Clara Ratu Miling ^{*1a}, Jonie Tanijaya ^{*2}, Desi Sandy ^{*3}

Submit:
12 Juni 2024

Review:
19 Juni 2024

Revised:
20 Juli 2024

Published :
5 November
2024

^{*1} Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia, claralalapo1234@gmail.com

^{*2} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia, jonie.tanijaya@gmail.com

^{*3} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia, sandy.mylife@yahoo.com

^aCorresponding Author: claralalapo1234@gmail.com

Abstrak

Self-Compacting Concrete (SCC) merupakan inovasi beton yang tidak memerlukan alat vibrator karena memiliki kemampuan mengalir sendiri untuk mengisi celah-celah sempit pada bekisting dan tulangan padat, sehingga dapat mencapai pemadatan optimal. Penelitian ini mengkaji penggunaan *silika fume* dan *viscocrete* 3115N sebagai bahan tambah pada beton SCC. Variasi *silika fume* yang digunakan adalah 0%, 10%, 12,5%, dan 15%, dengan *viscocrete* 3115N sebanyak 1,5% dari berat semen. Pengujian dilakukan pada beton segar (*slump-flow* dan *V-funnel tests*) serta sifat mekanis beton (kuat tekan, tarik belah, lentur, dan modulus elastisitas) pada umur 7, 21, dan 28 hari. Hasil menunjukkan bahwa dengan peningkatan persentase *silika fume*, nilai *slump-flow* meningkat dari 650 mm hingga 700 mm, dan waktu *V-funnel* meningkat dari 8 detik hingga 11 detik. Kuat tekan beton pada 28 hari meningkat dari 42,425 MPa hingga 48,180 MPa, kuat tarik belah dari 4,242 MPa hingga 4,879 MPa, kuat lentur dari 5,346 MPa hingga 6,131 MPa, dan modulus elastisitas dari 30312,643 MPa hingga 34020,116 MPa. Penambahan *silika fume* dan *viscocrete* terbukti mampu meningkatkan kekuatan dan mencapai target mutu beton SCC yang direncanakan.

Kata kunci: Beton SCC, *Silika Fume*, *Viscocrete 3115N*, pengujian beton segar, pengujian sifat mekanis beton

Abstract

Self-Compacting Concrete (SCC) is a concrete innovation that does not require a vibrator because it has the ability to flow itself to fill narrow gaps in formwork and solid reinforcement, so that it can achieve optimal compaction. This research examines the use of *silika fume* and *viscocrete* 3115N as additional materials in SCC concrete. The variations of *silika fume* used are 0%, 10%, 12.5%, and 15%, with 3115N *viscocrete* at 1.5% of the cement weight. Tests were carried out on fresh concrete (*slump-flow* and *V-funnel tests*) as well as the mechanical properties of concrete (compressive strength, split tensile, flexural and modulus of elasticity) at the ages of 7, 21 and 28 days. The results show that with an increase in the percentage of *silika fume*, the *slump-flow* value increases from 650 mm to 700 mm, and the *V-funnel* time increases from 8 seconds to 11 seconds. The compressive strength of concrete at 28 days increased from 42,425 MPa to 48,180 MPa, split tensile strength from 4,242 MPa to 4,879 MPa, flexural strength from 5,346 MPa to 6,131 MPa, and modulus of elasticity from 30312,643 MPa to 34020,116 MPa. The addition of *silika fume* and *viscocrete* has been proven to be able to increase the strength and achieve the planned SCC concrete quality targets.

Keywords: SCC concrete, Silica Fume, Viscocrete 3115N, fresh concrete testing, concrete mechanical properties testing

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi beton telah menghasilkan modifikasi untuk meningkatkan kinerja beton dengan kualitas tinggi dan kemudahan pengerjaan. Beton normal memerlukan pemadatan untuk menghilangkan rongga udara, namun metode konvensional sering kali sulit diterapkan, terutama di area yang sulit dijangkau oleh mesin pemadat. *Self Compacting Concrete* (SCC) merupakan beton yang dapat memadat sendiri dengan kemampuan aliran tinggi, sehingga dapat mengisi ruang dan melewati halangan tanpa bantuan alat pemadat. Penggunaan SCC mempermudah proses pengecoran. *Silica fume*, sebagai mineral *admixture* dengan komposisi silika tinggi, berfungsi sebagai *filler* dan bahan *pozzolan*, meningkatkan kerapatan dan mutu beton. *Admixture Viscocrete* digunakan untuk meningkatkan aliran, konsistensi, dan sifat mekanis beton, sehingga mempermudah pengecoran dan menghasilkan beton berkualitas lebih baik.

Pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan benda uji silinder berukuran 10 x 20 cm pada usia beton 3, 7, 14, 28, dan 56 hari, dengan total 495 benda uji untuk 33 komposisi desain campuran beton. Setiap campuran diberi *Viscocrete* antara 0,5% hingga 1,8% dari berat semen, sesuai dosis dari Sika Indonesia, serta *Silica Fume* dengan dosis 0%, 10%, dan 20% dari *fly ash pozzolan*. [1]. SCC tanpa *curing* mengalami penurunan kuat tekan berturut-turut sebesar 16,1%, 13,9%, 13,1%, dan 12,75% pada umur 1, 3, 7, 28, dan 90 hari. Penurunan kuat tarik belah juga terjadi berturut-turut sebesar 3,25%, 7,99%, 9,52%, dan 9,16%. [2]. Untuk mencapai kondisi *self compactibility*, diperlukan penggunaan *viscocrete*. Komposisi binder semen dan *fly ash* yang diuji meliputi perbandingan 10:0, 8:2, 7:3, 6:4, dan 5:5 hingga batas *flowability* dan *workability*. Penggunaan *viscocrete* dengan dosis 1,5% dan 2% tidak menunjukkan perbedaan signifikan pada setiap komposisi *binder*. Komposisi binder 6:4 dengan dosis *viscocrete* 1,5% memberikan hasil optimal dari segi *workability*, *flowability*, dan kuat tekan beton. [3]. Penambahan *superplasticizer* sebesar 1%, beton mencapai kuat tekan tertinggi sebesar 52,08 MPa dan kuat tarik belah sebesar 3,16 MPa pada umur 28 hari. Pada kadar 2%, diameter *slump flow* beton mencapai 70 cm. Penambahan *superplasticizer* ini meningkatkan kuat tekan, kuat tarik belah, serta memperbaiki kemampuan *flow* beton. [4]. Beton normal memiliki kuat tekan rata-rata 39,90 MPa pada umur 28 hari. Penambahan *silica fume* 5% menyebabkan penurunan signifikan hingga 30,72 MPa, sementara penambahan *silica fume* 10% meningkatkan kuat tekan menjadi rata-rata 36,185 MPa. Ini menunjukkan bahwa penambahan *silica fume* pada beton *Self Compacting Concrete* dapat mengurangi kuat tekan beton. [5]. Komposisi beton SCC menggunakan *Viscocrete* 3115N sebesar 1,5% dari berat semen menunjukkan hasil terbaik. Pada mix design no.6, diperoleh *Slump-Flow* 60,5 cm, waktu *V-Funnel* 5,28 detik, dan rasio *L-Box* 82,71%. *Mix design* no.7 menunjukkan diameter *Slump-Flow* 60 cm, waktu *V-Funnel* 5,16 detik, dan rasio *L-Box* 90,28%. Beton SCC dengan *Viscocrete* 3115N pada mix design no.6 menunjukkan kuat tekan rata-rata sebesar 23,02 MPa pada umur 7 hari, 25,98 MPa pada 14 hari, 32,29 MPa pada 21 hari, dan 41,24 MPa pada 28 hari, memenuhi mutu rencana 40 MPa di hari ke-28. Sebaliknya, *mix design* no.7 mencapai kuat tekan 23,28 MPa pada umur 7 hari, 25,58 MPa pada 14 hari, 26,69 MPa pada 21 hari, dan 30,11 MPa pada 28 hari, tidak memenuhi mutu rencana, dengan kuat tekan tertinggi sebesar 35,10 MPa pada hari ke-28. Selisih biaya pembuatan beton SCC menggunakan *Viscocrete* pada kedua mix design adalah Rp 16.263,00. [6]. Beton normal dan beton SCC dengan tambahan Sikament-NN mencapai kuat tekan yang ditargetkan sebesar 20 MPa. [7]. Beton dengan penambahan 15% *Silica Fume*, serta beton dengan kombinasi kedua bahan tambahan tersebut mencapai

kuat tekan desain $f'c$ 30 MPa.[8]. Penggunaan Conplast SP430 sebanyak 1 liter meningkatkan kuat tekan beton sebesar 26,88% dibandingkan dengan beton kontrol tanpa penambahan Conplast SP430 pada umur 28 hari. Pada umur 7 hari, kuat tekan beton rata-rata mencapai 312,88 kg/cm², sedangkan pada umur 28 hari, rata-rata kuat tekan beton mencapai 356,82 kg/cm². [9]. Limbah karbit dan *silica fume* belum dapat diterapkan untuk perencanaan beton mutu tinggi, karena hasil kuat tekan yang diperoleh belum memenuhi standar minimum yang ditetapkan, yaitu $\geq 41,4$ MPa.[10]. Untuk mengevaluasi kinerja beton *self compacting concrete*, sifat mekanisnya, kemudahan pengerjaan, penyusutan pengeringan, dan struktur pori dianalisis secara komprehensif [11], [12], [13], [14], [15].

METODOLOGI

A. Material

1. Semen
2. Agregat kasar dan agregat halus diambil dari Sungai Jeneberang, Gowa, Sulawesi Selatan
3. *Silica Fume*
4. *Viscocrete*
5. Air

B. Persamaan

Kuat tekan beton:

$$f'c = P/A \tag{1}$$

Kuat tarik belah beton:

$$ft = 2.P/\pi .L.d \tag{2}$$

Kuat lentur beton:

$$fr = P.L/b.h^2 \tag{3}$$

Kuat lentur beton:

$$Ec = s_2-s_1/ \varepsilon_2 - 0,00005 \tag{4}$$

C. Pemeriksaan Karakteristik Agregat

1. Agregat Kasar

Karakteristik agregat kasar berada dalam interval yang sesuai dengan spesifikasi teknis yang diperlukan untuk penggunaan efektif dalam konstruksi. Hasil pengujian karakteristik agregat kasar bisa dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Hasil pengujian karakteristik agregat kasar

Agregat Kasar				
No.	Karakteristik	Hasil	Interval	Keterangan
1	Kadar Air	1,279%	0.5% - 2.0%	Memenuhi
2	Kadar Lumpur	0.705%	0.2% - 1.0%	Memenuhi
3	Berat Jenis SSD	2.606	1.60 - 3.20	Memenuhi
4	Absorpsi (Penyerapan)	0,381%	0.20% - 2.00%	Memenuhi
5	Berat Volume Padat	1688,889 kg/m ³	1400 - 1900 kg/m ³	Memenuhi
6	Berat Volume Gembur	1430.556 kg/m ³	1400 - 1900 kg/m ³	Memenuhi
7	Modulus Kehalusan	6.992	5.50 – 8.50	Memenuhi

2. Agregat Halus

Karakteristik agregat halus berada dalam interval yang sesuai dengan spesifikasi teknis yang diperlukan untuk penggunaan efektif dalam konstruksi. Hasil pengujian karakteristik agregat kasar bisa dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. Hasil pengujian karakteristik agregat halus

Agregat Halus				
No.	Karakteristik	Hasil	Interval	Keterangan
1	Kadar Air	3.413%	3.0% - 5.0%	Memenuhi
2	Kadar Lumpur	2.564%	0.2% - 6.0%	Memenuhi
3	Berat Jenis SSD	2.480	1.60 - 3.20	Memenuhi
4	Absorpsi (Penyerapan)	0,655%	0.20% - 2.00%	Memenuhi
5	Berat Volume Padat	1661,950 kg/m ³	1400 - 1900 kg/m ³	Memenuhi
6	Berat Volume Gembur	1454,403 kg/m ³	1400 - 1900 kg/m ³	Memenuhi
7	Modulus Kehalusan	2.649	2.20 - 3.10	Memenuhi
8	Zat Organik	No. 1	< No. 3	Memenuhi

D. Perencanaan Campuran Beton

Tabel 3. Perencanaan Campuran Beton

Proporsi campuran	Mix desain
Semen <i>Porland</i>	621,212 kg/m ³
Air	205,000 kg/m ³
Agregat Kasar	532,070 kg/m ³
Agregat Halus	966,718 kg/m ³

Berdasarkan tabel di atas didapatkan hasil dari *mix desain* pada campuran beton dengan mutu rencana 25 Mpa menggunakan SNI 03-2834-2000.

E. Identifikasi Benda Uji

Tabel 4. Jumlah benda uji kuat tekan

No	Kode	Variasi <i>Silica Fume</i>	<i>Viscocrete</i> 3115N	Jumlah dan Umur Beton		
				7 Hari	21 Hari	28 Hari
1	BNKT	0%	1,5%	3	3	3
		10%	1,5%	3	3	3
2	BKT	12,5%	1,5%	3	3	3
		15%	1,5%	3	3	3

Penggunaan tiga benda uji membantu memastikan bahwa hasil pengujian kuat tekan beton adalah representatif, akurat, dan sesuai dengan standar yang berlaku.

Tabel 5. Jumlah benda uji kuat tarik belah

No	Kode	Variasi <i>Silica Fume</i>	<i>Viscocrete</i> 3115N	Jumlah dan Umur Beton Benda Uji 28 H
1	BNKTB	0%	1,5%	3
		10%	1,5%	3
2	BKTB	12,5%	1,5%	3
		15%	1,5%	3

Tabel 6. Jumlah benda uji kuat lentur

No	Kode	Variasi <i>Silica Fume</i>	<i>Viscocrete</i> 3115N	Jumlah dan Umur Beton Benda Uji 28 H
1	BNKL	0%	1,5%	3
		10%	1,5%	3
2	BKL	12,5%	1,5%	3
		15%	1,5%	3

Tabel 7. Jumlah benda uji Modulus Elastisitas

No	Kode	Variasi <i>Silica Fume</i>	<i>Viscocrete</i> 3115N	Jumlah dan Umur Beton Benda Uji 28 H
1	BNME	0%	1,5%	3
		10%	1,5%	3
2	BME	12,5%	1,5%	3
		15%	1,5%	3



Gambar 1. Benda Uji



Gambar 2. *Silica Fume*

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian *Slump-Flow Test*

Tabel 8. Hasil pengujian *Slump-Flow*

Variasi <i>Silica Fume</i>	Variasi <i>Viscocrete</i>	<i>Slump Flow Test</i>	Interval (mm)	Keterangan
0%	1,5%	650 mm	650-800	Memenuhi

10%	1,5%	660 mm	650-800	Memenuhi
12,5%	1,5%	690 mm	650-800	Memenuhi
15%	1,5%	700 mm	650-800	Memenuhi

B. Hasil Pengujian *V-Funnel Test*

Tabel 11. Hasil pengujian *V-Funnel*

Variasi <i>Silica Fume</i>	Variasi <i>Viscocrete</i>	<i>V-Funnel Test</i>	Interval (detik)	Keterangan
0%	1,5%	8 detik	6,00-12,00	Memenuhi
10%	1,5%	9 detik	6,00-12,00	Memenuhi
12,5%	1,5%	10 detik	6,00-12,00	Memenuhi
15%	1,5%	11 detik	6,00-12,00	Memenuhi

C. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Peningkatan persentase *Silica Fume* dari 0% hingga 15% secara bertahap meningkatkan nilai kuat tekan rata-rata beton. Penambahan *Silica Fume* yang lebih tinggi menghasilkan peningkatan kekuatan tekan yang signifikan, dengan nilai tertinggi dicapai pada konsentrasi 15%. Hal ini menunjukkan bahwa *Silica Fume* efektif sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan kekuatan tekan beton.

Tabel 12. Kuat tekan beton

Variasi Beton	Umur	Luas Penampang Silinder (mm ²)	Kuat Tekan Konversial 28 hari (Mpa)	Rata-rata Kuat Tekan Konversi 28 Hari (Mpa)
<i>Silica Fume</i> 0% + <i>Viscocrete</i> 1,5%	7 Hari	17678,57143	42.207	42,425
	21 Hari	17678,57143	42.077	
	28 Hari	17678,57143	42.990	
<i>Silica Fume</i> 10% + <i>Viscocrete</i> 1,5%	7 Hari	17678,57143	44.382	44,117
	21 Hari	17678,57143	43.565	
	28 Hari	17678,57143	44.404	
<i>Silica Fume</i> 12,5% + <i>Viscocrete</i> 1,5%	7 Hari	17678,57143	46.993	46,149
	21 Hari	17678,57143	45.352	
	28 Hari	17678,57143	46.101	
<i>Silica Fume</i> 15% + <i>Viscocrete</i> 1,5%	7 Hari	17678,57143	49.604	48,180
	21 Hari	17678,57143	47.138	
	28 Hari	17678,57143	47.798	

D. Kuat Tarik belah Beton

Peningkatan persentase *Silica Fume* dalam campuran beton dari 0% hingga 15% secara bertahap meningkatkan nilai kuat tarik belah rata-rata. Peningkatan yang paling signifikan terlihat pada penambahan 12,5% dan 15%, menunjukkan bahwa *Silica Fume* efektif dalam meningkatkan kekuatan tarik beton pada konsentrasi yang lebih tinggi.

Tabel 13. Kuat tarik belah

Variasi Beton	Umur	Beban Maksimum (Kn)	Kuat Tarik Belah (Mpa)	Rata-rata Kuat Tarik Belah (Mpa)
<i>Silica Fume</i> 0% + <i>Viscocrete</i> 1,5%	28 Hari	300	4.242	4.242
		310	4.384	
		290	4.101	
<i>Silica Fume</i> 10% + <i>Viscocrete</i> 1,5%	28 Hari	310	4.384	4.384
		320	4.525	
		300	4.242	
<i>Silica Fume</i> 12,5% + <i>Viscocrete</i> 1,5%	28 Hari	325	4.596	4.596
		335	4.737	
		315	4.455	
<i>Silica Fume</i> 15% + <i>Viscocrete</i> 1,5%	28 Hari	345	4.879	4.879
		355	5.020	
		335	4.737	

E. Kuat Lentur

Peningkatan persentase *Silica Fume* dalam campuran beton dari 0% hingga 15% secara bertahap meningkatkan nilai kuat tarik belah rata-rata. Peningkatan yang paling signifikan terlihat pada penambahan 12,5% dan 15%, menunjukkan bahwa *Silica Fume* efektif dalam meningkatkan kekuatan lentur pada beton.

Tabel 14. Kuat lentur

Variasi Beton	umur	Beban maksimum (kN)	Kuat lentur (MPa)	Rata-rata Kuat Lentur (MPa)
<i>Silica Fume</i> 0% + <i>Viscocrete</i> 1,5%	28 Hari	31381.440	5.579	5.346
		28439.430	5.056	
		30400.770	5.405	
<i>Silica Fume</i> 10% + <i>Viscocrete</i> 1,5%	28 Hari	32362.110	5.753	5.521
		29420.100	5.230	
		31381.440	5.579	
<i>Silica Fume</i> 12,5% + <i>Viscocrete</i> 1,5%	28 Hari	33833.115	6.015	5.782
		30891.105	5.492	
		32852.445	5.840	
<i>Silica Fume</i> 15% + <i>Viscocrete</i> 1,5%	28 Hari	35794.455	6.363	6.131
		32852.445	5.840	
		34813.785	6.189	

F. Modulus Elastisitas

Penambahan *Silica Fume* dalam beton meningkatkan modulus elastisitas hingga batas tertentu. Setelah mencapai 12,5% *Silica Fume*, penambahan lebih lanjut tidak meningkatkan modulus elastisitas beton secara signifikan, yang menunjukkan adanya batas optimal untuk penambahan *Silica Fume* dalam campuran beton.

Tabel 15. Modulus Elastisitas

Variasi Beton	E (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
	30339.761	30312.643
	30107.527	

	30490.640	
<i>Silica Fume 0% + Viscocrete 1,5%</i>		
	31753.114	
<i>Silica Fume 10% + Viscocrete 1,5%</i>	31610.220	31659.274
	31614.487	
	32229.463	
<i>Silica Fume 12,5% + Viscocrete 1,5%</i>	31779.984	34020.116
	34398.034	
	34530.176	
<i>Silica Fume 15% + Viscocrete 1,5%</i>	33132.138	34020.116
	34398.034	

KESIMPULAN

Untuk pengujian beton segar yaitu *Slump Flow Test* dan *V-Funnel Test* dengan variasi *Silica fume 0%*, *Silica fume 10%*, *Silica fume 12,5%*, *Silica fume 15%* dan *Viscocrete 1,5%* memenuhi sebagai beton segar SCC. Pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, dan modulus elastisitas beton dengan penggunaan *Silica Fume* dan *Viscocrete* sebagai bahan tambahan mengalami peningkatan. Dimana hasil pengujian kuat tekan beton pada pengujian 28 hari dengan variasi *Silica fume 0%*, *10%*, *12,5%*, *15%* dan *Viscocrete 1,5%* berturut-turut sebesar 42,425 MPa, 44,117 MPa, 46,149 MPa, dan 48,180 MPa. Pengujian kuat tarik belah diperoleh hasil berturut-turut sebesar 4,242 MPa, 4,384 MPa, 4,596 MPa, dan 4,879 MPa. Pengujian kuat lentur diperoleh hasil berturut-turut sebesar 5,346 MPa, 5,521 MPa, 5,782 MPa, dan 6,131 MPa. Dan pengujian modulus elastisitas beton rata-rata yang diperoleh dari hasil pengujian berturut-turut sebesar 30312.643 MPa, 31659.274 MPa, 32022,059 MPa, dan 34020.116 MPa.

REFERENSI

- [1] D. Raharjo, A. Subakri, dan T. Tavio, "Optimization Of Mixed Concrete 'Self Compacting' Material Using Fly Ash, Silica Fume and Their Influence Of Iron Slag Strong Contribution To The Press," *J. Civ. Eng.*, vol. 31, no. 1, hlm. 19–32, 2011.
- [2] E. Ernati, "Karateristik Self Compacting Concrete (SCC) tanpa Curing," *J. Techno Entrep. Acta*, vol. 1, no. 2, hlm. 143–143, 2016.
- [3] H. Sugiharto, G. H. Kusuma, A. Himawan, dan D. S. Darma, "Penggunaan Fly Ash dan Viscocrete Pada Self Compacting Concrete," *Civ. Eng. Dimens.*, vol. 3, no. 1, hlm. 30–35, 2001.
- [4] I. Fakrianto dan L. Herlina, "Karakteristik Kekuatan dan Workability pada Beton SCC (Self Compacting Concrete)," *J. Rekayasa Lingkungan. Terbangun Berkelanjutan*, vol. 1, no. 2, hlm. 219–223, 2023.
- [5] N. P. A. N. Sundariyati, D. D. Pranowo, W. N. Wari, A. Utanaka, dan M. G. Khomari, "Pengaruh Penambahan Silica Fume Terhadap Campuran Beton Memadat Sendiri (Self Compacting Concrete) Mutu Tinggi," *J. Tek. Sipil Dan Arsit.*, vol. 29, no. 2, hlm. 73–80, Jul 2024.
- [6] R. Saputra dan S. Riyanto, "Analisis Kuat Tekan Beton Self-Compacting Concrete Dengan Adimixture Viscocrete 3115N," *J. Online Skripsi Manaj. Rekayasa Konstr. JOS-MRK*, vol. 3, no. 4, hlm. 113–118, 2022.
- [7] S. Intan dan A. S. Trideni, "Pengaplikasian Beton Self Compacting Concrete (SCC) dengan dosis Sikament-NN 0, 6%, 0, 7%, 0, 8% dan penggunaan Agregat asal Quarry Waisakula Ambon," *Manumata J. Ilmu Tek.*, vol. 8, no. 1, hlm. 42–49, 2022.
- [8] V. johannes, T. J. Sahureka, dan S. Intan, "Pengaruh Penambahan Sikament-Nn Dan Silica Fume Terhadap Kuat Tekan Beton SCC (Self Compacting Concrete)," *Manumata J. Ilmu Tek.*, vol. 9, no. 1, hlm. 57–63, 2023.

- [9] Y. Risdianto, "Penerapan Self compacting concrete (SCC) pada beton mutu normal," *WAKTU J. Tek. UNIPA*, vol. 8, no. 2, hlm. 54–60, 2010.
- [10] Y. Widhiastuti dan A. Mujib, "Studi Perencanaan Beton Mutu Tinggi SCC Dengan Tambahan Limbah Karbit Dan Silicafume," *J. Tek. Sipil*, vol. 6, no. 2, hlm. 1–16, 2021.
- [11] Z. Liu, et. al, "Development of sustainable self-compacting concrete: Replacement of sand with municipal solid waste incineration ash molten slag and recycled fine aggregate," *Construction and Building Materials*, vol. 450, 2024.
- [12] Rifai, et. al, "Effect of micro steel fibers volume fraction on behavior of high-strength self-compacting concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 450, 2024.
- [13] C. Hua, et. al, "Radon emission characteristics and pore structure evolution of self-compacting concrete with silica fume-molybdenum tailings under different curing environments," *J. of Building Engineering*, vol. 97, 2024.
- [14] Y. P. Luo, et. al, "Effect of GGBFS on the mechanical properties of metakaolin-based self-compacting geopolymer concrete," *J. of Building Engineering*, vol. 96, 2024.
- [15] M. Murtaza, et. al, "Durability of high strength self-compacting concrete with fly ash, coal gangue powder, cement kiln dust, and recycled concrete powder," *Construction and Building Materials*, vol. 449, 2024.