

ANALISA PEMANFAATAN LIMBAH KACA SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN AGREGAT HALUS TERHADAP MODULUS ELASTISITAS DAN KUAT TEKAN BETON

Almas Asyam Wibawa¹, Aulia Rahman², Sugeng Riyanto³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang³

Almassinyo1986@gmail.com¹, aulia.rahman@polinema.ac.id², sugengriyanto@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Limbah kaca yang banyak dihasilkan dari aktivitas manusia, terutama di kota besar, terus meningkat dan sering dibuang sembarangan, mencemari lingkungan karena tidak dapat terurai secara alami. Masalah ini menimbulkan dampak lingkungan kronis akibat sifat kaca yang sulit terurai di tanah.. Tujuan dari skripsi ini adalah untuk menganalisis pengaruh penambahan agregat halus pada campuran beton dengan variasi tertentu, menentukan komposisi campuran yang menghasilkan nilai optimum, serta membandingkan biaya antara beton normal dan beton inovasi.. Perhitungan data untuk pengujian dilakukan dengan menggunakan program *Microsoft Excel 2013*. Hasil dari penelitian ini adalah Penambahan limbah kaca sebagai agregat halus pada campuran beton memberikan pengaruh berbeda tergantung pada kadar dan umur beton. Variasi 5% limbah kaca menghasilkan kuat tekan terbaik pada umur 7 hari, sedangkan beton tanpa limbah kaca unggul dalam kekuatan jangka panjang pada umur 28 hari. Komposisi 5% limbah kaca menunjukkan keseimbangan optimal antara efisiensi biaya dan performa mekanis. Namun, biaya pengolahan limbah kaca perlu dipertimbangkan dalam total biaya produksi beton inovasi. Dengan demikian didapatkan kuat tekan tertinggi berdasarkan penelitian yang dilakukan dalam 28 hari adalah dengan variasi 1% yang mengalami kenaikan 10,38% dibandingkan dengan beton variasi 0% atau variasi beton normal.

Kata kunci : Limbah Kaca, Agregat halus, Modulus Elastisitas

ABSTRACT

Glass waste, which is generated from human activities, especially in big cities, continues to increase and is often disposed of carelessly, polluting the environment because it cannot decompose naturally. This problem causes chronic environmental impacts due to the nature of glass that is difficult to decompose in the soil. The purpose of this thesis is to analyze the effect of the addition of fine aggregate to concrete mixtures with certain variations, determine the composition of the mixture that produces the optimum value, and compare the cost between normal concrete and innovative concrete. The calculation of data for the test was carried out using the Microsoft Excel 2013 program. The results of this study are The addition of glass waste as fine aggregate to the concrete mix gives a different effect depending on the level and age of the concrete. The 5% glass waste variation produced the best compressive strength at 7 days, while concrete without glass waste excelled in long-term strength at 28 days. The 5% glass waste composition showed an optimal balance between cost efficiency and mechanical performance. However, the cost of processing glass waste needs to be considered in the total production cost of innovation concrete. Thus, the highest compressive strength obtained based on the research conducted in 28 days is with 1% variation which has an increase of 10.38% compared to 0% variation concrete or normal concrete variation

Keywords : Waste Glass, Fine Aggregate, Modulus of Elasticity

1. PENDAHULUAN

Beton adalah bahan yang diperoleh dengan cara mencampurkan semen, air dan agregat pada perbandingan tertentu, dimana dalam jangka waktu tertentu akan mengeras [1]. Dengan adanya perkembangan pembangunan infrastruktur yang pesat, maka kebutuhan beton dan material penyusun beton juga semakin meningkat, hal ini berakibat terjadinya penambangan sumberdaya alam secara besar-besaran yang berdampak menurunnya kualitas ekosistem yang dapat merusak lingkungan. Penggunaan bahan pengganti di dalam campuran beton tidak bisa di berlakukan secara sembarangan karena harus memenuhi syarat yang ditentukan. Sehingga pembangunan yang menggunakan limbah dari alam harus memenuhi syarat-syarat mutu bangunan yang sudah di tentukan. (SNI 03-2834-2000). Dengan penggunaan kaca sebagai agregat kasar diharapkan dapat menjadi material alternatif campuran beton dan diharapkan akan mengurangi limbah kaca yang dapat merusak lingkungan [2].

Kaca adalah limbah anorganik yang belum dikelola secara maksimal sehingga dapat menimbulkan masalah lingkungan. Bentuknya yang keras dapat digunakan sebagai agregat kasar campuran dalam pembuatan beton. Pada penelitian ini dilakukan evaluasi pengaruh penambahan agregat campuran kaca dalam pembuatan beton dan dampaknya terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan. Untuk memperoleh kuat tekan beton yang optimal penggunaan agregat campuran kaca pada beton divariasikan menjadi tiga jenis yaitu; 0%, 5%, 9%, dan 20% [3].

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Beton dan Struktur Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang. Penelitian tersebut meliputi tahapan sebagai berikut:

Persiapan Material

Material yang digunakan meliputi Limbah kaca, semen Portland tipe I, air, agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir cor), belerang, dan oli. Semua material diuji untuk memastikan memenuhi standar spesifikasi yang diinginkan. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian sifat fisik agregat halus, uji agregat kasar, pengujian beton segar, dan pengujian benda uji [4].

Perencanaan Mix Design

Penelitian ini melibatkan agregat halus beton normal di substitusikan dengan limbah kaca. Sebagian bahan pada campuran beton dengan variasi 0%; 5%, 9%; dan 20% dari berat limbah kaca. Benda uji penelitian berbentuk silinder dengan jumlah masing-masing 4 Benda uji di setiap variasi.

Pengecoran dan Pemeliharaan

Setelah pengecoran, beton dibiarkan dalam cetakan selama 24 jam sebelum dilepaskan dan direndam dalam air untuk proses curing. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Air yang digunakan berasal dari laboratorium yang sama untuk memastikan konsistensi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan secara sistematis sesuai tahapan yang telah direncanakan, mulai dari persiapan bahan, pembuatan beton, hingga pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas pada berbagai umur beton. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian beton yang menggunakan limbah kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus dengan beton normal tanpa limbah kaca. Selain itu, juga dikaji pengaruh variasi persentase limbah kaca terhadap kekuatan tekan dan modulus elastisitas beton pada umur yang berbeda.

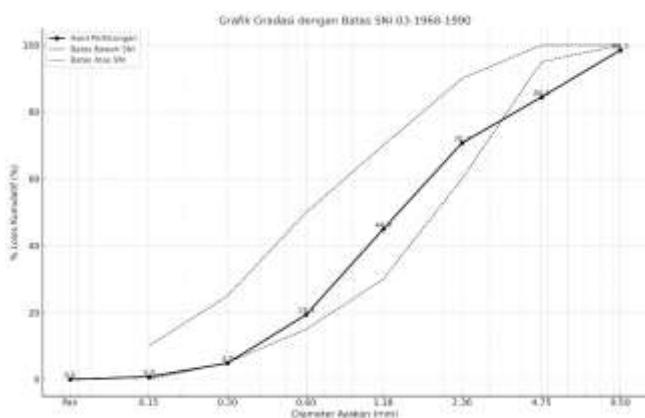
Hasil Pengujian Sifat Bahan

Pengujian agregat halus dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisik material yang digunakan dalam campuran beton. Agregat halus berupa pasir cor Lumajang dipilih karena memiliki ukuran butir seragam, kandungan silika tinggi, kadar alkali rendah, serta gradasi dan densitas yang baik, sehingga mendukung kekuatan dan workability beton. Pengujian yang dilakukan meliputi analisis gradasi, kehalusan, berat jenis (kering oven dan penuh), penyerapan air, kadar air, dan kadar organik.

Tabel 1. Hasil Pengujian Analisa Gradasi Agregat Halus

N o.	Diamet er Ayaka n (mm)	Berat Tertah an (Gram)		% Kumula tif (%)	% Lolos Kumula tif
		% Tertah an	Jumlah		
1.	9,5	12	1,49	1,49	98,51
2.	4,75	113,3	14,07	15,56	84,44
3.	2,36	110,6	13,73	29,29	70,71
4.	1,18	207,7	25,79	55,08	44,92
5.	0,6	205,6	25,53	80,6	19,39
6.	0,3	117,2	14,55	95,16	4,84
7.	0,15	32,9	4,08	99,24	0,76
8.	Pan	6,1	0,76	100	0
		805,4	100	476,42	-
				Angka Kehalusan 4,76	

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 1. Gradasi Agregat Halus

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 2. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pemeriksaan	Benda Uji		Rerata
	I	II	
Berat Jenis Bulk / Kering Oven (Oven Dry)	2,667	2,658	2,662
Berat Jenis Permukaan Kering (JKP / SSD)	2,701	2,695	2,698
Berat Jenis Semu (Apparent)	2,762	2,759	2,761
Penyerapan	1,297	1,379	1,338

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 3. Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Item	Benda Uji 1	Benda Uji 2	Rata-rata
Berat cawan (w ₁)	74.7 g	71.8 g	73.25 g
Berat cawan + BU (w ₂)	1291 g	1247.1 g	1269.05 g
Berat benda uji (w ₃)	1216.3 g	1175.3 g	1195.8 g
= w ₃ - w ₁)	g	g	g
Berat cawan + BU oven (w ₄)	1249 g	1203.5 g	1226.25 g
Berat benda uji kering oven (w ₅)	1174.3 g	1131.7 g	1153 g
Kadar air (w ₃ - w ₅ / w ₃)	3.45%	3.71%	3.58%

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 4. Hasil Analisa Gradasi Agregat Kasar

No.	Diameter Ayakan (mm)	Berat Tertahan (Gram)	% Tertahan	Kumulatif (%)	% Lulus Kumulatif
1.	38,0	0,0	0,00	0,00	100,00
2.	19,0	247,1	13,23	13,23	86,77
3.	9,5	1005,5	53,84	67,08	32,92
4.	4,75	532,7	28,53	95,60	4,40
5.	2,36	0,1	0,01	95,61	4,39
6.	1,18	29,2	1,56	97,17	2,83
7.	0,6	15,8	0,85	98,02	1,98
8.	0,3	10,9	0,58	98,60	1,40
9.	0,15	0,2	0,01	98,61	1,39
10.	Pan	25,9	1,39	100,00	0,00
Jumlah		1867,4	100,00	763,92	236,08
Angka Kehalusan					
6,64					

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 2. Gradasi Agregat Kasar

Sumber: Hasil Analisis

Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan

Hasil pengujian ini ialah data berupa berat jenis agregat kasar keadaan kering oven, berat jenis permukaan kering (SSD), Berat Jenis Semu, dan Penyerapan Agregat Kasar.

Tabel 5. Hasil Pengujian Konsistensi Normal Semen

Pemeriksaan	Benda Uji		Rerata
	I	II	
Berat Jenis Bulk / Kering (OD)	2,566	2,496	2,531
Berat Jenis	2,648	2,570	2,609
Permukaan Kering (SSD)			
Berat Jenis Semu (Apparent)	2,796	2,695	2,745
Penyerapan	3,207	2,952	3,080

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 6. Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

Pemeriksaan	Benda Uji		Rerata
	I	II	
Berat cawan (w ₁)	70,1	70,0	70,05
Berat cawan + bu (w ₂)	1303,9	1181,7	1242,8
Berat benda uji (w ₃ = w ₃ - w ₁)	1233,8	1111,7	1172,75
Berat cawan + bu oven (w ₄)	1280,4	1162,9	1221,65
Berat benda uji kering oven (w ₅ = w ₄ - w ₁)	1210,3	1092,9	1151,6
Kadar air (w ₃ - w ₅ / w ₃)	0,019	0,016	0,0175 (1,75%)

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 7. Hasil Pengujian Kekerasan Agregat Kasar

Pemeriksaan	Benda Uji		
	I	II	
Berat Cetakan	3121	3121	
Berat Cetakan + Agregat (Semula)	3546	3520	
Berat Agregat (Semula)	425	399	
Berat Ayakan No. 2.36	406	406	
Berat Benda Uji + Ayakan	782	761	
Berat Agregat tertahan saringan 2.36 mm	376	355	
Kekerasan Agregat (%)	11,53	11,3	
Kekerasan Agregat Rata-Rata (%)		11,28	

Sumber: Data diolah

Mix Design

Pada penelitian ini, campuran beton direncanakan menggunakan SNI-03-2843-2000 sebagai berikut.

Tabel 8. Jumlah Benda Uji

Kebutuhan Pengujian (Hari)	Jumlah Variasi			
	0%	5%	9%	20%
7	4	4	4	4
14	4	4	4	4
28	4	4	4	4
Cadangan	2	2	2	2
Kebutuhan Benda Uji	14	14	14	14
Total Kebutuhan	56			

Sumber: Hasil Analisis

Kebutuhan Bahan

Variasi konsentrasi Sika Accelerator yang digunakan pada benda uji beton adalah 0%, 5%, 9%, dan 2% dengan masing-masing 3 benda uji silinder sebagai uji kuat tekan pada umur 7 hari, 14 hari, 21 hari, 28 hari dan 3 benda uji sebagai cadangan untuk mengantisipasi apabila terjadi kerusakan

pada benda uji yang sudah disediakan. Serta disediakan pula 3 benda uji untuk melakukan pengujian kadar udara.

Tabel 9. Kebutuhan Bahan Variasi 0%

Material	Kebutuhan 14 Benda Uji (Kg)	
	Semen	Air
Semen	32,8	
Air		14,1
Pasir	56,1	
Kerikil	73,6	

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 10. Total Kebutuhan Bahan Variasi 5%

Material	Kebutuhan 14 Benda Uji (Kg)	
	Semen	Air
Semen	32,8	
Air		14,1
Limbah Kaca	2,8	
Pasir	53,3	
Kerikil	73,6	

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 11. Total Kebutuhan Bahan Variasi 9%

Material	Kebutuhan 14 Benda Uji (Kg)	
	Semen	Air
Semen	32,8	
Air		14,1
Limbah Kaca	5	
Pasir	51,1	
Kerikil	73,6	

Sumber: Hasil Perhitungan

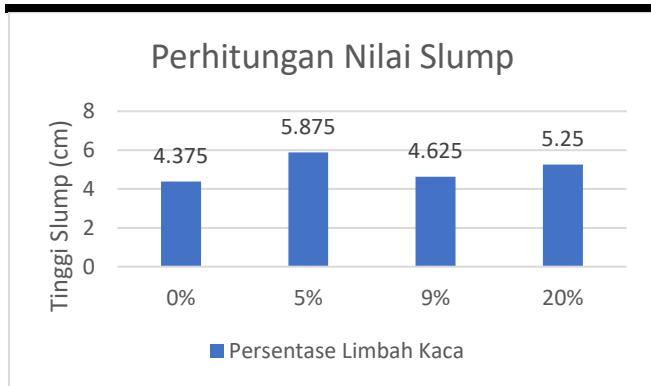
Tabel 12. Total Kebutuhan Bahan Variasi 20%

Material	Kebutuhan 14 Benda Uji (Kg)	
	Semen	Air
Semen	32,8	
Air		14,1
Limbah Kaca	11,2	
Pasir	44,9	
Kerikil	73,6	

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil Pengujian Slump

Pengujian untuk mendapatkan nilai slump dari setiap variasi campuran beton menggunakan standar nilai 30 mm – 60 mm.



Gambar 6. Grafik Pengujian Slump

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil Pengujian Berat isi

Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini dilakukan pada umur benda uji 7, 14, 21, dan 28 hari. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji diberi kaping pada bagian atas agar permukaan bidang tekan menjadi rata sehingga pada saat pengujian dilakukan, beban yang diterima dapat terdistribusi secara merata. Benda uji pada penelitian ini berbentuk silinder dengan tiga sampel dari setiap variasi, sehingga total benda uji untuk pengujian ini sebanyak 48 sampel.

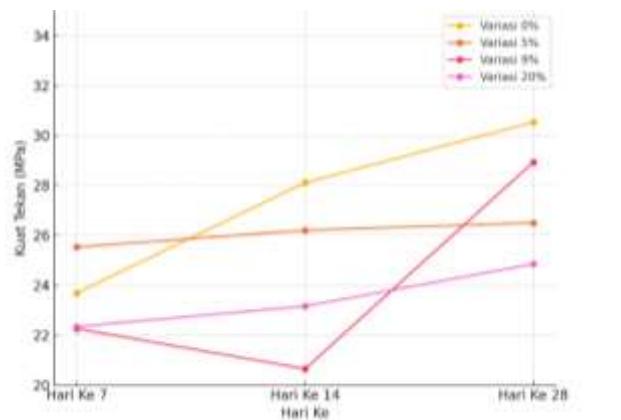
Tabel 13. Hasil Pengujian Berat isi

Variasi	Pemeriksaan	Berat Isi (gr)
0%	Berat Mould	3500
	Berat Mould + Air	6100
	Volume Isi Mould	2600
	Berat Mould + Benda Uji	10500
	Berat Benda Uji	7000
5%	Berat Mould	3500
	Berat Mould + Air	6100
9%	Volume Isi Mould	2600
	Berat Mould + Benda Uji	10500
	Berat Benda Uji	7000
	Berat Mould	3500
20%	Berat Mould + Air	6100
	Volume Isi Mould	2600
	Berat Mould + Benda Uji	10400
	Berat Benda Uji	6900

Sumber: Hasil Perhitungan

Variasi	Pemeriksaan	Berat Isi (gr)
Volume Isi Mould	2600	
Berat Mould + Benda Uji	10500	
Berat Benda Uji	7000	
Berat Mould	3500	
Berat Mould + Air	6100	
Volume Isi Mould	2600	
Berat Mould + Benda Uji	10500	
Berat Benda Uji	7000	
Berat Mould	3500	
Berat Mould + Air	6100	
Volume Isi Mould	2600	
Berat Mould + Benda Uji	10400	
Berat Benda Uji	6900	

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 7. Grafik Perbandingan hasil kuat tekan benda uji

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 14. Modulus Elastisitas

Variasi	Hari	Benda Uji				Rata-rata
		1	2	3	4	
0%	7	-	26304,42	-	70771,41	48537,91
	14	38602,59	49956,29	60661,21	23193,99	43103,52
	28	49539,99	35385,70	23970,96	53078,56	40493,80
5%	7	16543,97	17766,88	21591,28	-	18634,04
	14	32663,73	76669,03	62140,75	-	57157,83
	28	26724,87	21775,82	29284,72	37577,74	28840,79
9%	7	48995,59	23970,96	-	60661,21	44542,59

14	-	59250,48	15726,98	-	37488,73
28	70771,41	26211,63	-	23922,73	40301,92
7	-	-	-	-	-
20%	14	24264,48	-	43551,64	70771,41
	28	67401,34	90346,48	24687,70	41093,08
					44394,04

Berdasarkan hasil pengujian, diketahui bahwa penggunaan variasi kadar Superplasticizer terhadap campuran beton dapat mempengaruhi nilai kuat tekan beton. Pada umur 7 hari, beton dengan variasi 0,8% Superplasticizer memiliki kuat tekan terbaik sebesar 172,40 kg/cm² dan kuat tekan terendah terdapat pada variasi 1,2% sebesar 145,60 kg/cm². Pada umur 14 hari, beton dengan variasi 1% Superplasticizer menunjukkan kuat tekan terbaik sebesar 192,30 kg/cm², sedangkan kuat tekan terendah terjadi pada variasi 1,2% sebesar 174,15 kg/cm². Pada umur 21 hari, beton dengan variasi 0,8% Superplasticizer kembali menunjukkan kuat tekan terbaik sebesar 210,45 kg/cm² dan kuat tekan terendah pada variasi 1,2% sebesar 188,30 kg/cm². Pada umur 28 hari, beton dengan variasi 1% Superplasticizer memiliki kuat tekan terbaik sebesar 235,60 kg/cm² dan kuat tekan terendah tetap berada pada variasi 1,2% sebesar 215,75 kg/cm².

Penggunaan Superplasticizer sebagai admixture menunjukkan bahwa beton dapat mencapai kuat tekan yang lebih tinggi pada umur 14, 21, dan 28 hari, terutama pada dosis 0,8%–1%. Peningkatan kekuatan ini disebabkan oleh perbaikan workability beton tanpa harus menambah air, sehingga rasio air-semen tetap rendah dan proses hidrasi dapat berlangsung lebih efektif. Namun, hasil ini juga memperlihatkan bahwa penggunaan dosis yang terlalu tinggi, seperti 1,2%, justru berdampak negatif terhadap kekuatan beton, kemungkinan karena segregasi campuran atau peningkatan porositas beton.

Penggunaan Superplasticizer dengan variasi 0,8% meningkatkan kuat tekan beton untuk beton umur 7, 21, dan 28 hari masing-masing sebesar 4,80 kg/cm² (2,87%), 10,95 kg/cm² (5,49%), dan 12,35 kg/cm² (5,53%) dibandingkan kontrol tanpa Superplasticizer. Sedangkan pada umur 14 hari, variasi 0,8% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 3,10 kg/cm² (1,59%). Penggunaan Superplasticizer dengan variasi 1% meningkatkan kuat tekan beton pada umur 14 dan 28 hari sebesar 7,25 kg/cm² (3,92%) dan 10,45 kg/cm² (4,64%), tetapi menurunkan kuat tekan beton pada umur 7 dan 21 hari sebesar 2,30 kg/cm² (1,32%) dan 3,15 kg/cm² (1,50%). Sementara itu, penggunaan Superplasticizer dengan variasi 1,2% secara konsisten menurunkan kuat tekan beton pada semua umur pengujian, dengan penurunan paling besar terjadi pada umur 21 hari sebesar 12,20 kg/cm² (6,08%).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal penting terkait dengan pengaruh penambahan limbah kaca sebagai substansi agregat halus dalam campuran beton, yaitu.

- Penggunaan Superplasticizer berpengaruh terhadap peningkatan kuat tekan beton, terutama pada dosis 0,8% dan 1%, yang mampu meningkatkan kuat tekan pada umur 14, 21, dan 28 hari. Namun, pada dosis 1,2%, kuat tekan beton justru mengalami penurunan.
- Pemilihan dosis Superplasticizer yang tepat sangat penting untuk mendapatkan hasil optimal. Dosis yang terlalu tinggi (1,2%) dapat menyebabkan segregasi dan porositas campuran, sehingga menurunkan kuat tekan beton.
- Variasi 0,8% menunjukkan performa terbaik pada umur 7 dan 21 hari, sedangkan variasi 1% menghasilkan kuat tekan tertinggi pada umur 14 dan 28 hari, menjadikannya sebagai pilihan ideal tergantung pada target umur kekuatan beton.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Chen, S. Dong, Y. Liu, Y. Liang, and F. Skoczylas, "Effect of waste glass as fine aggregate on properties of mortar," *Materials*, vol. 15, no. 23, p. 8499, 2022.
- [2] E. O. Fanijo, J. T. Kolawole, and A. Almakrab, *Alkali-silica reaction (ASR) in concrete structures: Mechanisms, effects and evaluation test methods adopted in the United States.*, vol. 15. 2021.
- [3] SNI-03-2834-2000, "SNI 03-2834-2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal," *SNI 03-2834-2000*, 2000.
- [4] SNI1974-2011, "Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder," *SNI1974-2011*., 2011.