

Studi Penggunaan Limbah Kardus Sebagai Substitusi Agregat Halus Dengan Menggunakan Zat Additive *Superplasticizer* Pada Material Lightweight Concrete

Study on the Use of Cardboard Waste as a Substitute for Fine Aggregate Using Superplasticizer Additives in Lightweight Concrete Materials

Nanda Puspita Rini ^{*1}, Toni Budi Santoso ², H. Zainuddin ³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bojonegoro, Bojonegoro.
Corresponding Author: nandapuspitar026@gmail.com

ABSTRAK

Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) menginformasikan bahwa banyaknya limbah kardus pada tahun 2023 mencapai 11,06% dari total sampah 18.414.659 ton. Dikarenakan hal tersebut, pemanfaatan limbah kardus dalam campuran penyusun beton menjadi salah satu pilihan untuk mengatasi masalah pembuangan limbah kardus. Metode dalam penelitian ini yaitu eksperimental dengan berpedoman pada SNI 03-3449-2002 tentang Pedoman Perancangan Campuran Beton Ringan Menggunakan Agregat Ringan. Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilaksanakan diperoleh hasil rata-rata kekuatan tekan pada umur 21 hari pada variasi normal 12,18 Mpa, variasi normal +sp 11,41 Mpa, variasi 2,5% 6,15 Mpa, dan variasi 5% 7,18 Mpa. Sedangkan pada umur 28 hari diperoleh pada variasi normal 12,50 Mpa, variasi normal +sp 12,30 Mpa, variasi 2,5% 6,98 Mpa, dan variasi 5% 7,24 Mpa. Berdasarkan hasil perhitungan kuat tekan dalam setiap variasi mengalami peningkatan nilai kuat tekan yaitu pada variasi normal terjadi peningkatan sebesar 2,62% dari umur 21 ke 28 hari, untuk variasi normal + SP mengalami peningkatan sebesar 7,8% dari umur 21 ke 28 hari, pada variasi campuran limbah kardus 2,5% terjadi peningkatan sebesar 11,89% dari umur 21 ke 28 hari, dan pada variasi campuran limbah kardus 5% terjadi peningkatan sebesar 0,83% dari umur 21 ke 28 hari. Dari perolehan hasil uji kekuatan tekan beton dapat disimpulkan bahwa benda uji menggunakan substitusi limbah kardus terhadap agregat halus pada beton ringan mempengaruhi kekuatan tekan beton, akan tetapi tidak menambah perkuatan pada beton ringan.

Kata kunci: bubur kardus, batu apung, superplasticizer, beton ringan, kuat tekan beton

ABSTRACT

The National Waste Management Information System (SIPSN) informs that the amount of cardboard waste in 2023 will reach 11.06% of the total waste of 18,414,659 tons. Due to this, the use of cardboard waste in the concrete mixture is one option to overcome the problem of cardboard waste disposal. The method in this research is experimental, guided by SNI 03-3449-2002 concerning Guidelines for Designing Lightweight Concrete Mixes Using Light Aggregates. Based on the research that has been carried out, the average compressive strength test results obtained at the age of 21 days with a normal variation of 12.18 Mpa, a normal variation of +sp 11.41 Mpa, a variation of 2.5% 6.15 Mpa, and a variation of 5% 7, 18 Mpa. Meanwhile, at the age of 28 days, the normal variation was 12.50 Mpa, the normal +sp variation was 12.30 Mpa, the 2.5% variation was 6.98 Mpa, and the 5% variation was 7.24 Mpa. Based on the results of the compressive strength calculations in each variation, the compressive strength value experienced an increase, namely in the normal variation there was an increase of 2.62% from 21 to 28 days of age, for the normal + SP variation there was an increase of 7.8% from 21 to 28 days of age, in the 2.5% cardboard waste mixture variation there was an increase of 11.89% from 21 to 28 days of age, and in the 5% cardboard waste mixture variation there was an increase of 0.83% from 21 to 28 days of age. From the concrete compressive strength test results obtained, it shows that the test objects using cardboard waste substitutes for fine aggregate in lightweight concrete influence the compressive strength of the concrete, but do not increase the strengthening of lightweight concrete.

Key words: cardboard pulp, pumice, superplasticizer, lightweight concrete, compressive strength of concrete

PENDAHULUAN

Dalam pekerjaan konstruksi, beton ialah komponen utama yang dibutuhkan (Putri et al., 2023). Beton adalah bahan bangunan yang sangat populer karena bahan-bahan utamanya mudah ditemukan di berbagai daerah dan harganya cukup terjangkau. Selain itu, beton memiliki ketahanan yang tinggi, sehingga dapat digunakan untuk periode yang panjang (Pujianto et al., 2021). Beton adalah bahan struktural yang dipergunakan dalam pembangunan infrastruktur, terutama dalam bangunan gedung. Beton terdiri dari beberapa komponen penyusun, yaitu semen, agregat halus (seperti pasir), agregat kasar, air, serta bahan tambahan (admixture) jika diperlukan.

Beton memiliki sejumlah keunggulan, antara lain kekuatan tekan yang melebihi baja, ketahanan terhadap api, kekakuan struktural yang tinggi, masa pakai yang panjang, biaya perawatan yang minim, serta fleksibilitas dalam pembentukan berbagai bentuk penampang, dan tidak memerlukan personel dengan kualifikasi tinggi (Firda et al., 2021). Namun, beton juga memiliki beberapa kelemahan, meliputi : (1) Kekuatan tariknya relatif rendah; (2) Proses pembentukan struktur beton memerlukan pencampuran, pembentukan, dan perawatan untuk mencapai kekuatan tekan yang diinginkan; (3) Biaya pembuatan cetakan beton cenderung tinggi; (4) Beton memiliki risiko tinggi mengalami keretakan akibat penyusutan dan beban yang diterima; (5) Kualitas beton sangat bergantung pada cara pencampuran dan pembentukannya. (Purwanto et al., 2020).

Menurut Putari (2016), beton ringan adalah tipe beton yang memiliki densitas lebih rendah dibandingkan dengan beton konvensional. (Fauzi et al., 2022). Menurut saifuddin, dkk (2013) Beton ringan bisa diproduksi menggunakan agregat ringan seperti batu apung, tanah liat, fly ash, dan serbuk kayu (Damayanti, 2022). Penggunaan material yang mempunyai klasifikasi ringan mempengaruhi berat beton. Saat memproduksi beton ringan, rongga terbentuk karena penggunaan agregat ringan atau terciptanya gelembung udara (Miswar, 2020). Beton ringan mempunyai kelemahan seperti kuat tekan yang terbatas, sehingga tidak disarankan menggunakan beton ringan untuk perkuatan struktur. Dalam proses pembuatan beton, berbagai faktor dapat mempengaruhi kekuatan beton, salah satunya adalah distribusinya. Perawatan beton yang benar antara lain menggunakan air yang bersih atau bebas bahan kimia yang dapat merusak beton (Febryandi et al., 2022).

Batu apung, yang terbentuk dari pembekuan lava vulkanik dan memiliki densitas rendah antara 300-800 kg/m³, adalah salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai agregat ringan. Batu apung dapat digunakan sebagai pengganti sebagian agregat kasar normal dalam pembuatan beton ringan sehingga dapat membuat beban mati yang lebih rendah, biaya yang tetap terjangkau, dan memiliki daya hantar suhu yang relatif rendah (Adila, 2023).

Berdasarkan data pada Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) menginformasikan bahwa banyaknya limbah kardus di Indonesia pada Tahun 2023 mencapai 11,06% dari total 18.414.659 ton sampah yang ada. Kardus memiliki kandungan 8,67% selulosa, 18,10% pektin, dan 2,38% lignin, dengan pH di bawah 7,5. Kardus, yang merupakan limbah rumah tangga dengan pemanfaatan yang masih belum maksimal, dapat dimanfaatkan dengan lebih baik sebagai substitusi untuk agregat halus dalam campuran beton dan menjadi salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan pembuangan limbah kardus.

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan beton ringan dengan memanfaatkan limbah kardus dan menambahkan zat aditif berupa *Superplasticizer* untuk mencapai nilai yang optimal. Penambahan ini akan dianalisis berdasarkan kuat tekan beton f'_c 20 MPa pada umur beton 21 dan 28 hari.

METODE PENELITIAN

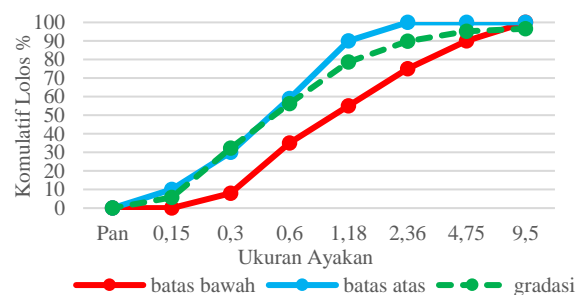
Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan berpedoman dengan SNI 03-3449-2002 tentang Pedoman Perancangan Campuran Beton Ringan Menggunakan Agregat Ringan dengan benda uji beton ringan berbentuk silinder berukuran 15 cm x 30 cm yang akan diuji pengujian kekuatan tekan pada umur 21 dan 28 hari. Digunakan 4 jenis variasi yaitu normal, normal + SP, campuran limbah kardus 2,5% dan campuran limbah kardus 5% dengan jumlah 6 benda uji setiap variasinya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

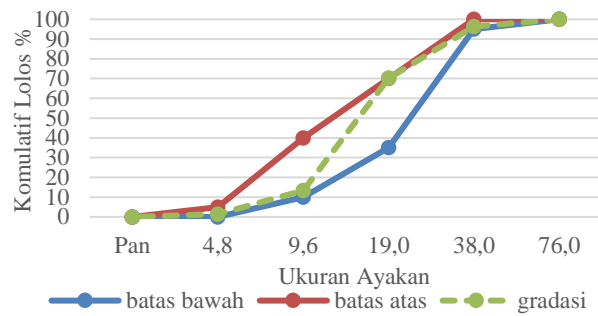
Proses penelitian ini diawali dengan pengujian sifat-sifat agregat halus dan agregat kasar yang akan digunakan dalam pembuatan sampel uji dengan ukuran 15cm x 30cm berbentuk silinder. Dari hasil uji properties didapatkan data sebagai berikut :

- a. Kadar Lumpur
Untuk Kadar lumpur pada agregat halus mencapai 0,65%, sedangkan untuk agregat kasar mencapai 3,30% dimana hasil tersebut memenuhi standart persyaratan yang telah ditetapkan.
- b. Uji Kadar Organik
Hasil pengujian kadar organik agregat halus memenuhi persyaratan karena warna yang dihasilkan menunjukkan no.2 .
- c. Kadar Air
Kadar air agregat halus sebesar 2,20% pada kondisi SSD awal, sementara pada agregat kasar hasil uji kadar air-nya adalah 3,99% pada kondisi asli awal dan 7,10% pada kondisi SSD awal.
- d. Uji Ayakan
Hasil uji ayakan menunjukkan bahwa agregat halus termasuk dalam klasifikasi gradasi no.2, yaitu kategori pasir sedang, sementara agregat kasar sesuai dengan klasifikasi untuk ukuran maksimum 40 mm.



Gambar 1. Gradasi Agregat Halus No. 2

Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024



Gambar 2. Gradasi Agregat Kasar Ukuran Maks 40 mm

Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024.

Setelah uji properties telah dilaksanakan, tahap selanjutnya yaitu merencanakan *mix design* berpedoman SNI-03-3449-2002 dengan hasil susunan campuran beton pada tabel berikut ini :

1. Komposisi campuran beton untuk setiap 1 m³ adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi campuran beton setiap 1 m³

	Semen (Kg)	Air (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Agregat Kasar (Kg)
Tiap 1 m ³	397,15	102,57	998,14	203,00

Sumber : Perhitungan Penulis, 2024

2. Komposisi campuran beton untuk setiap silinder berukuran 15 cm x 30 cm adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Komposisi campuran beton setiap silinder 15 cm x 30 cm

No	Nama Benda Uji	Semen (kg)	Air (L)	Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus - Pasir (kg)	Agregat Halus - Kardus (kg)	Superlasticizer (kg)
1	N	2,63	0,68	1,35	6,45	0,00	0,00
2	N + SP	2,61	0,61	1,35	6,62	0,00	0,03
3	N 2,5%	2,61	0,61	1,35	6,45	0,17	0,03
4	N 5%	2,61	0,61	1,35	6,29	0,33	0,03

Sumber : Perhitungan Penulis, 2024

Setelah merencanakan *mix design* dilanjutkan dengan *job mix* yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro dan cara perawatan beton dilakukan dengan merendamnya dalam air selama 21 dan 28 hari. Setelah dilakukan *job mix* dilanjutkan penimbangan beton segar agar mengetahui berat jenis beton segar. Berikut merupakan hasil perhitungan berat jenis beton segar :

Tabel 3. Berat Jenis Beton Segar

Persentase Penambahan ASK	Berat Beton Basah (Kg) 1	Berat Wadah (Kg) 2	Berat Air (kg) 3	Volume Wadah (m ³) 4	Berat Jenis Beton Basah (kg/m ³) 1 : 4
Beton Normal	7,520	0,188	3,88	0,00388	1938,14
Normal + SP	7,480	0,188	3,88	0,00388	1927,84
2,5%	7,150	0,188	3,88	0,00388	1842,78
5%	6,580	0,188	3,88	0,00388	1695,88

Sumber : Perhitungan Penulis, 2024

Dari tabel hasil perhitungan berat jenis beton segar dapat diketahui bahwa berat jenis beton segar dengan variasi normal memiliki berat 1996,16 kg/m³, variasi Normal + SP memiliki berat 1838,83 kg/m³, variasi 2,5 % memiliki berat 1757,70 kg/m³, dan variasi 5% memiliki berat 1617,58 kg/m³. Berdasarkan hasil yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa pada setiap penambahan variasi limbah kardus cenderung dapat mengurangi berat jenis beton segar. Setelah perhitungan berat jenis beton segar, dilanjutkan dengan uji kekuatan tekan beton dan dihasilkan nilai berikut ini:

Tabel 4. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 21 Hari

Persentase Campuran	Umur (Hari)	No. Benda Uji	Berat (Kg)	Kuat Tekan Fc' (Mpa)	Rata - Rata (Mpa)
Beton Normal	21	1	9,83	10,79	12,18
	21	2	9,88	11,16	
	21	3	9,90	13,31	
	21	4	9,19	11,65	
	21	5	9,02	13,27	
	21	6	9,10	12,89	
Normal + SP	21	1	9,58	9,87	11,41
	21	2	9,82	13,11	
	21	3	9,62	12,15	
	21	4	9,57	11,43	
	21	5	9,58	10,89	
	21	6	9,68	10,99	
2,5%	21	1	9,45	6,52	6,15
	21	2	9,12	5,65	
	21	3	9,24	6,82	
	21	4	9,45	5,55	
	21	5	9,28	4,79	
	21	6	9,75	7,54	
5%	21	1	9,60	6,47	7,18
	21	2	9,87	8,54	
	21	3	9,62	7,33	

Persentase Campuran	Umur (Hari)	No. Benda Uji	Berat (Kg)	Kuat Tekan Fc' (Mpa)	Rata - Rata (Mpa)
	21	4	9,30	6,74	
5%	21	5	9,71	6,43	7,18
	21	6	8,74	7,58	

Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, Penulis (2024)

Berdasarkan hasil yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa pada umur 21 hari variasi normal menunjukkan bahwa pada variasi normal memiliki kekuatan tekan rata-rata 12,18 Mpa, variasi Normal + SP memiliki kekuatan tekan rata-rata 11,41 Mpa, variasi 2,5 % memiliki kekuatan tekan rata-rata 6,15 Mpa, variasi 5% memiliki kekuatan tekan rata-rata 7,18 Mpa.

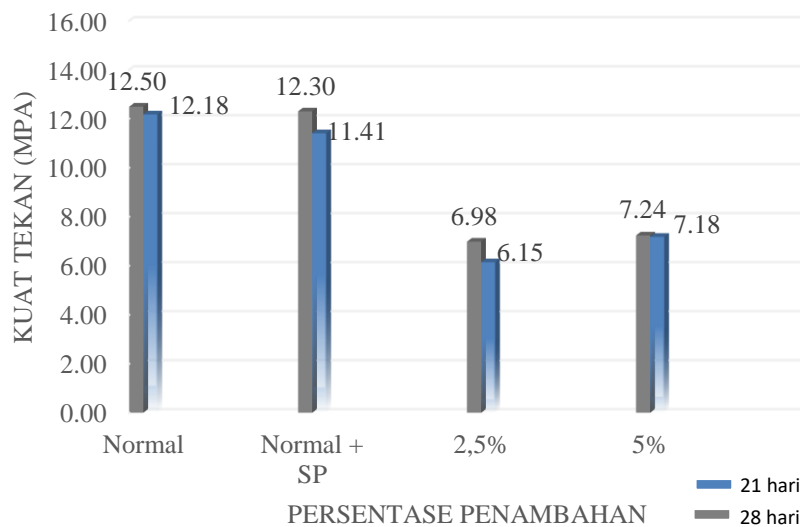
Tabel 5. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Persentase Campuran	Umur (Hari)	No. Benda Uji	Berat (Kg)	Kuat Tekan Fc' (Mpa)	Rata - Rata (Mpa)
Beton Normal	28	1	9,16	10,76	12,50
	28	2	9,28	11,86	
	28	3	9,28	10,11	
	28	4	9,12	13,37	
	28	5	9,30	14,52	
	28	6	9,24	14,35	
Normal + SP	28	1	9,24	10,26	12,30
	28	2	9,08	11,54	
	28	3	9,18	12,08	
	28	4	9,07	12,71	
	28	5	9,26	13,27	
	28	6	9,36	13,96	
2,5 %	28	1	9,40	7,40	6,98
	28	2	9,13	5,29	
	28	3	9,66	7,82	
	28	4	8,96	6,28	
	28	5	9,08	8,05	
	28	6	9,38	7,07	
5%	28	1	9,06	6,68	7,24
	28	2	9,78	9,39	
	28	3	9,66	6,64	
	28	4	9,20	6,47	
	28	5	9,10	7,69	
	28	6	9,35	6,56	

Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, Penulis (2024)

Berdasarkan hasil yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa pada umur 28 hari, variasi normal mencapai kekuatan tekan rata-rata 12,50 MPa, variasi Normal + SP mencapai 12,30 MPa,

variasi 2,5% memiliki kekuatan tekan rata-rata 6,98 MPa, dan variasi 5% menunjukkan kekuatan tekan rata-rata 7,24 MPa.



Gambar 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton
 Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024.

Dilihat dari hasil perhitungan kuat tekan diatas, pada setiap variasi mengalami peningkatan kuat tekan dalam selisih umur dari 21 ke 28 hari. Pada variasi normal terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 2,62%, variasi normal + SP menunjukkan peningkatan kuat tekan sebesar 7,8%. Sementara itu, pada variasi campuran limbah kardus 2,5%, terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 11,89%, dan pada variasi campuran limbah kardus 5%, peningkatan kuat tekan tercatat sebesar 0,83%..

Langkah selanjutnya yaitu perhitungan standart deviasi yang memperoleh hasil berikut ini:

Tabel 6. Hasil Perhitungan Standart Deviasi Umur 21 Hari

NO	T hancur f'c	Rata-rata T hancur f'c	xi-x	(xi-x)^2	n	∑(xi-x)^2	(∑(xi-x)^2)/n	Standart Deviasi
1	10,787	12,18	-1,390	1,932448	6	6,229	1,038	1,018925
2	11,156		-1,021	1,042880				
3	13,310		1,134	1,285106				
4	11,653		-0,523	0,273911				
5	13,268		1,092	1,191449				
6	12,886		0,710	0,503454				
1	9,872	11,41	-1,536	2,360246	6	6,230	1,038	1,018983
2	13,105		1,697	2,879917				
3	12,152		0,744	0,552944				
4	11,433		0,024	0,000587				
5	10,893		-0,515	0,265275				
6	10,995		-0,414	0,170989				
1	6,522	6,15	0,376	0,141731	6	4,957	0,826	0,908899
NO	T hancur f'c	Rata-rata T hancur f'c	xi-x	(xi-x)^2	n	∑(xi-x)^2	(∑(xi-x)^2)/n	Standart Deviasi

2	5,650		-0,495	0,245303				
3	6,818		0,673	0,453234				
4	5,554	6,15	-0,591	0,348996	6	4,957	0,826	0,908899
5	4,791		-1,354	1,833789				
6	7,536		1,391	1,933533				
1	6,466		-0,715	0,510749				
2	8,537		1,356	1,839104				
3	7,330	7,18	0,149	0,022216	6	3,293	0,549	0,740836
4	6,742		-0,439	0,192515				
5	6,428		-0,753	0,567291				
6	7,582		0,401	0,161149				

Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, Penulis (2024)

Tabel 7. Hasil Perhitungan Standart Deviasi Umur 28 Hari

NO	T hancur f'c	Rata-rata T hancur f'c	xi-x	(xi-x)^2	n	$\sum(xi-x)^2$	$(\sum(xi-x)^2)/n$	Standart Deviasi
1	10,760		-1,736	3,012244				
2	11,862		-0,633	0,401172				
3	10,113	12,50	-2,382	5,673837	6	17,380	2,897	1,701954
4	13,369		0,874	0,764030				
5	14,516		2,021	4,083788				
6	14,351		1,856	3,444804				
1	10,260		-2,043	4,174939				
2	11,536		-0,767	0,588453				
3	12,083	12,30	-0,220	0,048478	6	8,665	1,444	1,201722
4	12,708		0,405	0,164076				
5	13,268		0,965	0,930633				
6	13,964		1,661	2,758234				
1	7,396		0,412	0,169576				
2	5,292		-1,692	2,863942				
3	7,822	6,98	0,838	0,702164	6	5,363	0,894	0,945457
4	6,283		-0,701	0,491455				
5	8,047		1,063	1,129679				
6	7,065		0,081	0,006520				
1	6,679		-0,558	0,311360				
2	9,390		2,153	4,634541				
3	6,637	7,24	-0,600	0,360135	6	6,557	1,093	1,045397
4	6,466		-0,771	0,594820				
5	7,687		0,450	0,202599				
6	6,563		-0,674	0,453676				

Sumber : Hasil Pengujian di Laboratorium, Penulis (2024)

Sesuai dengan pengertian standart deviasi diatas, maka hasil perhitungan standart deviasi menunjukkan bahwa rata-rata hasil standar deviasi semua variasi tersebut memiliki nilai yang seragam pada setiap benda uji dengan rata-rata nilai deviasi standar yang kecil, menunjukkan

bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara sampel uji satu dengan yang lainnya pada setiap variasi.

PEMBAHASAN

Pada tabel hasil kuat tekan beton, untuk nilai kekuatan tekan beton rata-rata untuk beton campuran 5% yaitu 7,18 Mpa pada umur 21 hari dan 7,24 Mpa pada umur 28 hari. Dari data tersebut menunjukkan bahwa variasi campuran 5% memiliki rata-rata kuat tekan lebih tinggi jika dibandingkan dengan variasi campuran 2,5%. Ditinjau dari nilai rata-rata kuat tekan beton normal, terjadi penurunan pada variasi 2,5% sebesar 49,5% pada umur 21 hari dan 44,16% pada umur 28 hari. Sedangkan pada variasi 5% terjadi penurunan sebesar 41,05% pada umur 21 hari dan 42,08% pada umur 28 hari.

Dilihat dari peneliti sebelumnya, pada umur 28 hari dengan variasi 0% didapatkan kuat tekan sebesar 17,342 Mpa dan variasi campuran kardus 10% memperoleh hasil kuat tekan 20,324 Mpa. Terjadi peningkatan dari campuran 0% dengan variasi campuran 10%. Sedangkan dari penelitian yang telah dilaksanakan oleh peneliti menghasilkan temuan bahwa hasil menurun dari variasi normal ke variasi campuran 2,5% dan 5% yaitu dari normal sebesar 12,50 Mpa dan menurun menjadi 6,98 Mpa di variasi 2,5% dan 7,24 Mpa di variasi 5% pada umur 28 hari.

Berdasarkan hasil kuat tekan beton yang telah dilakukan, diperoleh hasil yang bervariasi disetiap benda ujinya. Hal ini disebabkan oleh kurangnya ketelitian peneliti dalam proses pembuatan desain campuran beton dan pencampuran bahan beton, yang mengakibatkan ketidakmerataan dalam pencampuran material. Selain itu, kurangnya perhatian terhadap waktu pengaturan saat pembuatan campuran beton juga berkontribusi pada nilai kuat tekan beton yang tidak sesuai dengan rencana.

SIMPULAN DAN SARAN

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa hasil uji kekuatan tekan dari benda uji yang menggunakan variasi substitusi limbah kardus 2,5% dan 5% terhadap agregat halus pada beton ringan menunjukkan pengaruh pada kuat tekan yaitu dengan hasil uji pada umur 21 hari 6,15 Mpa untuk variasi 2,5% dan 7,18 Mpa untuk variasi 5%. Sedangkan pada umur 28 hari sebesar 6,98 Mpa untuk variasi 2,5% dan 7,24 Mpa untuk variasi 5%.

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa kekuatan tekan beton yang paling optimal pada usia 21 dan 28 hari ditemukan pada variasi beton dengan substitusi 5%, dengan nilai masing-masing sebesar 7,18 MPa dan 7,24 MPa..

SARAN

1. Saat melakukan proses pembuatan beton harus diperhatikan setting time agar tidak terjadi kegagalan adukan beton
2. Pembuatan benda uji sebaiknya dibuat dalam waktu yang bersamaan setiap variasinya.
3. Penelitian menggunakan penambahan campuran limbah kardus dengan interval $\leq 10\%$ tanpa campuran zat additive Superplasticizer.

DAFTAR PUSTAKA

Adila, A. (2023). Pengaruh Batu Apung Sebagai Pengganti Agregat Kasar Dan Bahan Tambah Silica Fume Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton (The Effect Of Pumice

Stone As A Replacement Of Coard Aggregate And Silica Fume Additional Materials On The Concrete Compressio.

- Adriasnyah, M. R., & Yusril, M. (2024). Analisis Perbandingan Kuat Tekan Beton Antara Campuran Agregat Kasar Batu Pecah (Split) dan Agregat Kasar Batu Alam Sungai Noling. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, 24(1), 47–54. <https://doi.org/10.35965/eco.v24i1.4188>
- Basid, A., Wahyudi, D., & Jafar, M.J. (2020). Analisis Beton Ringan Dengan Penambahan Batu Apung Dan Zat Additive Untuk Pengujian Kuat Tekan Beton.
- Damayanti, R. (2022). *Dinamika Teknik Sipil Majalah Ilmiah Teknik Sipil*. Retrieved from <https://journals.ums.ac.id/index.php/DTS/index>
- Fauzi, M., Puspita, N., & Julio, R. R. (2022). Pengaruh Penambahan Kaolin Sebagai Bahan Subtitusi Parsial Semen Pada Beton Ringan.
- Febryandi, Devi, B.S., Julio, R. R., & Cristine, A. (2022). Analisis Pengaruh Penambahan Kaolin Sebagai Pengganti Sebagian Semen.
- Firda, A., Permatasari, R., & Fuad, I.S. (2021). Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Sebagai Material Pengganti Agregat Kasar Pada Pembuatan Beton Ringan (Vol. 6).
- Firdaus, M. R., Nisumanti, S., & Qubro, K. A. (2022). Pengaruh Pengerasan Beton Menggunakan Superplasticizer Terhadap Kuat beton Busa.
- Hadi, H. S. (2018). Diterima Disetujui Dipublish Hal Analisis Penambahan Limbah Kertas Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan, 12(1). Retrieved from <http://journal.unmasmataram.ac.id/index.php/>
- Hartini. (2018). Pengaruh Penambahan Limbah Kertas Kardus Dalam Campuran Beton Kertas (Paper Crete) Ditinjau Dari Uji Kuat Tekan Bata Beton.
- Herwani, Imran, I., Budiono, B., Pane, I., Zulkifli, E., & Elvira. (2018). Efektivitas Superplasticizer Tekan Beton Geopolimer, 10(2), 12–18.
- Manuahe, R., Sumajouw, M. D. J., & Windah, R. S. (2014). Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash). *Jurnal Sipil Statik*, 2(6), 277–282.
- Megasari, S. W., & Winayati. (2017). Analisis Pengaruh Penambahan Sikament-Nn Terhadap Karakteristik Beton. *SIKLUS: Jurnal Teknik Sipil*, 3(2), 117–128. <https://doi.org/10.31849/siklus.v3i2.398>
- Miswar, K. (2020). Pemanfaatan Batu Apung Sebagai Material Beton Ringan. *PORTAL Jurnal Teknik Sipil*, 12(01), 25–32.
- Pujianto, A., Faizah, R., Widiyanto, A., Putra, T. A., Prayuda, H., & Firdausa, F. (2021). Pemanfaatan Limbah Bata Ringan Sebagai Bahan Penyusun Pengganti Pada Beton. *Bangunan*, 26(2), 1. <https://doi.org/10.17977/um071v26i22021p1-8>
- Pujianto, A., Prayuda, H., Zega, B.C., & Afriandini, B. (2019). Kuat Tekan Beton dan Nilai Penyerapan dengan Variasi Perawatan Perendaman Air Laut dan Air Sungai. *Semesta Teknika*, 22(2), 112–122. <https://doi.org/10.18196/st.222243>
- Purwanto, H., & Wardani, U.C. (2020). Pengaruh Penambahan Serbuk Besi Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu K225, 5(2).
- Putri, N. I. K., Zainuddin, & Ikhwan, M. Z. (2023). Seminar Nasional Teknik Sipil Studi Pengaruh Subtitusi Limbah Thermosetting Polymers Terhadap Mutu Beton Ringan.
- Tandipayuk, R.P., Adiwijaya, & Manganta, M. (2017). Kuat Tekan Beton Menggunakan Limbah Kertas Sebagai Subtitusi Parsial Agregat Halus.