

## PERBANDINGAN SIFAT MEKANIK PAVING BLOCK MENGGUNAKAN ZAT ADITIF BESTMITTEL DAN TANPA ZAT ADITIF BESTMITTEL

Jumardin<sup>1\*</sup>, Rahmawati<sup>2</sup>, Abd. Muis B<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare, [jumardinarbas@gmail.com](mailto:jumardinarbas@gmail.com)

### ABSTRAK

Paving block merupakan salah satu material konstruksi yang umum digunakan untuk perkerasan jalan dan area pejalan kaki. Kualitas paving block sangat dipengaruhi oleh komposisi material penyusunnya, termasuk penggunaan zat aditif. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan sifat mekanik paving block yang menggunakan zat aditif Bestmittel dengan paving block tanpa zat aditif. Uji yang dilakukan meliputi uji kuat tekan, keausan dan porositas sesuai dengan standar SNI. Metode penelitian menggunakan pendekatan eksperimental laboratorium dengan variasi campuran beton menggunakan Bestmittel dan tanpa Bestmittel, serta pengujian pada umur beton 7, 14, dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan zat aditif Bestmittel meningkatkan kuat tekan paving block secara signifikan dibandingkan dengan paving block tanpa zat aditif. Selain itu, paving block dengan Bestmittel menunjukkan tingkat penyerapan air yang lebih rendah, yang menandakan peningkatan kerapatan dan durabilitas material. Dengan demikian, penggunaan Bestmittel sebagai zat aditif dapat menjadi alternatif yang efektif untuk meningkatkan kualitas mekanik paving block.

**Kata kunci :** *Paving Block, Bestmittel, Kuat Tekan, Keausan, Porositas*

Penerbit : Fakultas Teknik Universitas Pasifik Morotai

## 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Paving block adalah material yang sangat umum digunakan dalam pembangunan infrastruktur, terutama untuk permukaan jalan, trotoar, area parkir, dan lapangan olahraga. Keunggulan utama dari paving block adalah kemudahan pemasangan, kemampuannya untuk menyerap air, serta ketahanannya terhadap beban lalu lintas. Di Indonesia, penggunaan paving block semakin populer karena kemampuannya untuk mengurangi risiko genangan air, sekaligus memberikan kemudahan dalam pemeliharaan dan perbaikan. Meskipun demikian, kualitas paving block sangat dipengaruhi oleh sifat mekanik material yang digunakan, seperti kekuatan tekan, ketahanan terhadap keausan, dan ketahanan terhadap faktor lingkungan eksternal seperti perubahan suhu dan kelembaban [1]

Kualitas paving block yang kurang baik dapat mengarah pada kerusakan lebih cepat, seperti retak atau aus pada permukaan, yang akan mengurangi umur pakai dan fungsinya. Beton, sebagai bahan utama dalam pembuatan

paving block, memiliki kekuatan yang cukup baik, namun memiliki keterbatasan dalam ketahanan terhadap beban dinamis, pembekuan-pencairan, serta degradasi akibat paparan air dan bahan kimia. Oleh karena itu, penelitian yang berfokus pada peningkatan kualitas beton untuk paving block melalui penambahan bahan tambahan (aditif) menjadi sangat penting. Aditif ini dapat memperbaiki berbagai sifat beton, baik dalam keadaan segar maupun setelah mengeras [2]

Salah satu jenis aditif yang dapat digunakan adalah aditif polimer. Aditif polimer memiliki kemampuan untuk meningkatkan berbagai sifat beton, termasuk meningkatkan ketahanan terhadap air, meningkatkan fleksibilitas dan elastisitas, serta meningkatkan ketahanan terhadap perubahan suhu ekstrem. Penambahan polimer dalam campuran beton telah terbukti memberikan peningkatan pada ketahanan terhadap keretakan, keausan, dan pembekuan-pencairan, yang sangat penting untuk paving block yang sering terpapar pada kondisi lingkungan yang ekstrim [3]

Salah satu jenis aditif polimer yang memiliki potensi untuk meningkatkan kualitas beton adalah Bestmittel. Bestmittel dikenal sebagai aditif polimer yang dapat meningkatkan kekuatan tekan, daya rekat, serta ketahanan beton terhadap faktor lingkungan, seperti kelembaban, suhu ekstrem, dan paparan bahan kimia. Dalam beberapa studi, aditif polimer seperti Bestmittel terbukti dapat meningkatkan kekuatan tarik dan tekan beton serta memperbaiki ketahanan terhadap keretakan [4]. Oleh karena itu, pemanfaatan Bestmittel dalam campuran beton paving block diharapkan dapat meningkatkan ketahanan material ini terhadap beban lalu lintas yang tinggi dan kondisi lingkungan yang berubah-ubah, yang merupakan tantangan utama dalam pembangunan infrastruktur di Indonesia.

## **2 TINJAUAN PUSTAKA**

Paving block adalah material konstruksi yang digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti trotoar, jalan, dan area parkir. Paving block terbuat dari campuran semen, agregat, dan air, yang dicetak dalam bentuk tertentu. Paving block memiliki keunggulan seperti kemudahan pemasangan, perawatan yang rendah, serta daya tahan terhadap beban dan cuaca. Menurut [5] sifat mekanik paving block sangat dipengaruhi oleh komposisi bahan dan proses pembuatannya.

Paving block dibuat melalui proses pencampuran bahan-bahan yang terdiri dari semen, pasir, kerikil halus, dan air dalam proporsi yang tepat. Bahan tambahan seperti fly ash, slag, atau bahan polimer dapat ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem. Setelah pencampuran, bahan-bahan tersebut dicetak menggunakan mesin vibropress atau manual untuk membentuk blok-blok yang memiliki bentuk dan ukuran yang bervariasi, seperti segi empat, herringbone, atau bata. Setelah proses pengepresan, paving block perlu melalui tahap curing atau pemadatan untuk memastikan kekuatan dan ketahanan struktural yang optimal [6].

Paving block dirancang untuk menahan beban statis maupun dinamis, terutama beban lalu lintas kendaraan. Ketahanan terhadap tekanan dan beban sangat bergantung pada komposisi bahan dan metode produksi yang

digunakan. Paving block umumnya memiliki kuat tekan yang cukup tinggi, yang memungkinkan untuk digunakan pada area dengan lalu lintas ringan hingga sedang [7]

Salah satu keunggulan utama paving block adalah kemampuannya dalam mendukung sistem drainase. Karena terdapat celah antar blok, air hujan dapat meresap ke dalam tanah, mengurangi risiko genangan atau banjir. Paving block juga sering digunakan di area dengan kondisi tanah yang kurang baik atau di daerah yang rawan erosi [8].

Paving block banyak digunakan di berbagai area seperti trotoar, parkir, taman, jalan lingkungan, dan lapangan olahraga. Keunggulannya dalam menyediakan permukaan keras yang tahan lama, mudah dirawat, serta memiliki sistem drainase alami membuatnya sangat cocok digunakan untuk infrastruktur perkotaan [9]. Selain itu, paving block juga sering digunakan dalam proyek-proyek ramah lingkungan, seperti area resapan air atau sistem permeable paving.

Sifat mekanik paving block meliputi kekuatan tekan, kekuatan lentur, daya tahan terhadap air, dan elastisitas. Kekuatan tekan adalah kemampuan material untuk menahan beban tanpa mengalami kerusakan. Kekuatan lentur menunjukkan kemampuan material untuk menahan gaya yang berlawanan, sedangkan daya tahan terhadap air dan cuaca menentukan seberapa baik material bertahan dalam kondisi lingkungan yang berbeda.

Zat aditif atau "Bestmittel" adalah bahan tambahan yang digunakan dalam berbagai produk industri, termasuk dalam dunia konstruksi, untuk meningkatkan kualitas dan kinerja material seperti beton, mortar, atau bahan bangunan lainnya. Dalam konteks konstruksi, Bestmittel mengacu pada bahan kimia atau zat yang ditambahkan untuk memodifikasi sifat fisik, mekanik, dan kimia dari bahan bangunan utama, terutama untuk beton, semen, atau material sejenis. Secara umum, istilah Bestmittel sering kali dikaitkan dengan produk-produk yang dirancang untuk memperbaiki karakteristik material konstruksi. Sementara itu, dalam bahasa Jerman, kata ini dapat diterjemahkan menjadi "penambah kualitas" atau "penyempurna", yang lebih menunjukkan pada penggunaan bahan kimia dalam campuran untuk menghasilkan beton yang lebih kuat, tahan lama, dan efisien dalam aplikasinya.

Fungsi Bestmittel adalah untuk mempercepat pembebanan pada beton sehingga seharusnya tidak perlu menunggu umur perawatan 28 hari untuk mencapai kuat tekan yang direncanakan, pada penambahan Bestmittel 0,4 % dengan umur perawatan 9 hari telah dicapai kuat tekan rata-rata sebesar 25,653 MPa, pada umur ini kuat tekan telah mencapai kuat tekan beton yang direncanakan. Meskipun demikian pengujian hingga umur 28 hari harus dilakukan karena untuk mengetahui kuat tekan maksimal yang dapat terjadi [10].

Penambahan polimer juga dapat meningkatkan densitas campuran beton dengan mengurangi porositas, sehingga lebih sedikit ruang kosong yang dapat menurunkan kekuatan tekan. Polimer seperti polivinil asetat (PVA) atau lateks memiliki sifat elastis yang membantu mendistribusikan beban secara lebih merata ke seluruh bagian paving block [11]. Efek ini dapat menghasilkan material yang lebih kuat dan lebih tahan lama dalam penggunaan jangka panjang.

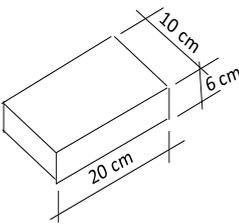
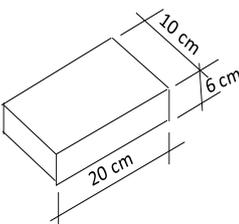
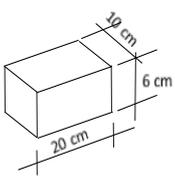
### 3 METODE PENELITIAN

Penelitian eksperimental adalah jenis penelitian yang dilakukan untuk menguji hipotesis dengan memanipulasi variabel independen dan mengamati dampaknya terhadap variabel dependen, sambil menjaga faktor-faktor lain yang tidak diinginkan tetap konstan atau terkendali. Penelitian ini sering dilakukan di laboratorium atau dalam kondisi terkontrol di lapangan. Peneliti memiliki kontrol penuh terhadap variabel eksperimen dan dapat mengubahnya untuk mengamati perubahan yang terjadi pada variabel dependen.

Paving block sebagai material konstruksi jalan memerlukan pengujian sifat mekanik untuk memastikan kualitas dan ketahanan dalam penggunaannya. Di Indonesia, pengujian sifat mekanik paving block mengikuti (03-0691-1996, 1996) mengenai Paving Block Beton yang mengatur aspek teknis terkait kekuatan tekan, lentur, dan daya tahan terhadap air. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa paving block dapat memenuhi syarat keselamatan dan daya tahan terhadap kondisi lingkungan dan beban yang diterimanya di lapangan.

Dalam penelitian ini, kita akan membandingkan dua kelompok paving block: satu kelompok menggunakan zat aditif Bestmittel dan satu kelompok lainnya tanpa aditif Bestmittel. Fokus penelitian adalah menguji sifat mekanik paving block, seperti kekuatan tekan, kekuatan tarik, dan durabilitas (ketahanan terhadap air dan suhu ekstrem). Analisis data dilakukan secara kualitatif tanpa menggunakan uji statistik formal, dengan tujuan untuk mengevaluasi perbedaan yang terlihat antara kedua kelompok berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan.

Tabel 1. Variasi dan jumlah benda uji

KODE SAMPEL	VARIASI BESTMITTEL	KEBUTUHAN SAMPEL UJI			KETERANGAN
		KUAT TEKAN	KEAUSAN	POROSITAS	
TO	0%	3			
T2	0,20%	3			
T4	0,40%	3			
T6	0,60%	3			
	JUMLAH	12			
P0	0%		3		
P2	0,20%		3		
P4	0,40%		3		
P6	0,60%		3		
	JUMLAH		12		
L0	0%			3	
L2	0,20%			3	
L4	0,40%			3	
L6	0,60%			3	
	JUMLAH			12	

## 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Agregat

Hasil pengujian agregat ditunjukkan pada rekapitulasi dari percobaan-percobaan yang dilakukan di Laboratorium, yaitu sebagai berikut:

Tabel 2. Karakteristik Agregat Halus ( Pasir Sungai Rajang )

No.	Karakteristik	Agregat	Sni-03-6468-2000	Hasil Pengamatan		Nilai Rata-Rata	Keterangan
				I	II		
1	Kadar lumpur		Maks 5%	2,8%	3,4%	3,10%	Memenuhi
2	Kadar organik		< No. 3	No. 2	No. 2	No. 2	Memenuhi
3	Kadar air		2% - 5%	2,46%	3,95%	3,20%	Memenuhi
4	Berat volume						
	a. Kondisi lepas		1,4 - 1,9 kg/liter	1,41	1,44	1,42	Memenuhi
	b. Kondisi padat		1,4 - 1,9 kg/liter	1,52	1,57	1,54	Memenuhi
5	Absorpsi		0,2% - 2%	2,04%	0,81%	1,42%	Memenuhi
6	Berat jenis spesifik						
	a. Bj. Nyata		1,6 - 3,3	2,59	2,54	2,57	Memenuhi
	b. Bj. dasar kering		1,6 - 3,3	2,46	2,49	2,48	Memenuhi
	c. Bj. kering permukaan		1,6 - 3,3	2,51	2,51	2,51	Memenuhi
7	Modulus kehalusan		1,50 - 3,80	3,13	3,21	3,17	Memenuhi

Secara keseluruhan, hasil pengamatan menunjukkan bahwa agregat halus (pasir sungai) memenuhi semua kriteria standar yang diperlukan untuk digunakan dalam pembuatan beton. Pasir ini memiliki kualitas yang baik, dengan kandungan lumpur dan bahan organik yang rendah, kadar air yang sesuai, serta berat jenis dan modulus kehalusan yang ideal. Semua parameter ini memastikan bahwa pasir akan berkontribusi positif terhadap kekuatan dan kualitas beton yang dihasilkan.

### Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton yang menggunakan agregat halus, seperti pasir, sangat penting dalam menentukan kualitas dan ketahanan struktur beton. Pasir sebagai agregat halus berperan dalam mengisi ruang kosong di antara agregat kasar dan membantu dalam pencampuran beton. Kualitas pasir, termasuk ukuran butir dan kandungan kotoran, mempengaruhi kekuatan beton. Pasir yang bersih dan berukuran seragam dapat meningkatkan kohesi antara semen dan agregat, menghasilkan beton yang lebih kuat dan tahan lama.[12]

Namun, pemilihan pasir yang tidak sesuai, seperti yang mengandung banyak kotoran atau terlalu halus, dapat mengurangi kekuatan tekan beton. Kotoran atau material organik dalam pasir dapat menyebabkan penurunan kekuatan beton karena mengganggu proses hidrasi semen. Selain itu, ukuran butir pasir yang sangat halus dapat meningkatkan kebutuhan air dalam campuran beton, yang dapat menyebabkan penurunan kekuatan tekan jika

tidak dikompensasi dengan benar. Oleh karena itu, penting untuk memilih pasir dengan kualitas yang tepat dan sesuai spesifikasi untuk memastikan kekuatan tekan beton yang optimal.

Tabel 3. Uji Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari

Variasi	Umur	Beban	Kuat Tekan	Rata-rata
		(KN)	(Mpa)	(Mpa)
0%	7	870	43,50	38,25
	7	660	33,00	
0,2%	7	630	31,50	41,00
	7	1010	50,50	
0,4%	7	1190	59,50	55,50
	7	1010	51,50	
0,6%	7	1040	52,00	58,13
	7	1285	64,25	

Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase campuran, semakin besar pula kuat tekan rata-rata yang dihasilkan pada umur 7 hari.

Tabel 4. Uji Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari

Variasi	Umur	Beban	Kuat Tekan	Rata-rata
		(KN)	(Mpa)	(Mpa)
0%	14	940	47,00	51,00
	14	1100	55,00	
0,2%	14	1275	63,75	58,63
	14	1070	53,50	
0,4%	14	1400	70,00	60,25
	14	1010	50,50	
0,6%	14	1380	69,00	64,75
	14	1210	60,50	

Secara keseluruhan, semakin tinggi persentase campuran, semakin besar pula kuat tekan rata-rata yang dihasilkan pada umur 14 hari.

Tabel 5. Uji Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Variasi	Umur	Beban	Kuat Tekan	Rata-rata
		(KN)	(Mpa)	(Mpa)
0%	28	1120	56,00	46,75
	28	750	37,50	
0,2%	28	1150	57,50	52,25
	28	940	47,00	
0,4%	28	1110	55,50	58,50
	28	1230	61,50	
0,6%	28	1340	67,00	61,75
	28	1130	56,50	

Secara keseluruhan, semakin tinggi persentase campuran, semakin besar pula kuat tekan rata-rata yang dihasilkan pada umur 28 hari.

## Hasil Pengujian Durabilitas

### 1. Uji Porositas

Uji porositas dimaksudkan untuk mengukur ketahanan material terhadap kerusakan akibat paparan lingkungan. Uji porositas dilakukan dengan mengukur persentase penyerapan air terhadap sampel ukuran 10cm x 20cm x 6cm.

Tabel 6. Persentase Penyerapan Air Terhadap Variasi Penggunaan Bestmittel

Variasi	Umur	Beban Awal	Beban Kering	daya serap air	Rata-Rata daya serap Air
		(g)	(g)	(%vol)	(%vol)
0%	28	3400	3250	5%	3%
	28	3370	3310	2%	
0,20%	28	3200	3100	3%	3%
	28	3530	3410	4%	
0,40%	28	3600	3470	4%	3%
	28	3500	3390	3%	
0,60%	28	3440	3310	4%	4%
	28	3020	2900	4%	

Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa daya serap air material cenderung bervariasi tergantung pada variasi beban awal yang digunakan, namun rata-rata daya serap air berada pada kisaran 3% hingga 4%, yang menunjukkan bahwa material ini memiliki ketahanan terhadap penyerapan air yang cukup baik. Uji durabilitas ini penting untuk menentukan sejauh mana material dapat bertahan dalam kondisi lembab atau basah selama penggunaan jangka panjang.

### 2. Pengujian Abrasi/Keausan

Uji Pengujian Abrasi atau Keausan adalah salah satu pengujian yang digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap keausan atau penurunan kualitas akibat gesekan dengan material lain. Uji ini sering dilakukan pada bahan konstruksi, seperti aspal, beton, atau bahan-bahan yang digunakan pada jalan raya dan permukaan keras lainnya. Dalam uji abrasi, sampel material akan dikenakan gesekan dalam waktu tertentu dengan benda abrasif atau alat khusus, lalu dihitung kehilangan massa atau perubahan bentuk yang terjadi pada material tersebut.

Tabel 7. Hasil Pengujian Abrasi/Keausan

Variasi	Umur	Berat Basah	Berat Kering	Berat Sebelum Abrasi	Berat Setelah Abrasi	Berat Setelah Abrasi
		(Gram)	(Gram)	(Gram)	(Gram)	(Gram)
0%	28	290	270	810	758	6,42%
	28	280	270			
	28	290	270			
0,20%	28	300	290	840	784	6,67%
	28	300	280			
	28	290	270			
0,40%	28	300	280	830	754	9,16%
	28	290	270			
	28	300	280			
0,60%	28	310	290	860	784	8,84%
	28	310	290			
	28	300	280			

Data ini menunjukkan bahwa seiring dengan bertambahnya kadar yang diuji, terjadi peningkatan penurunan berat material setelah dilakukan proses abrasi, yang mencerminkan pengaruh dari umur dan kadar terhadap ketahanan material terhadap keausan.

## 5 KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian ini sebagai berikut :

- Penambahan Bestmittel berpengaruh positif terhadap kuat tekan beton. Pada umur 7, 14, dan 28 hari, variasi 0,6% consistently menghasilkan kuat tekan tertinggi, yaitu masing-masing 58,13 MPa, 64,75 MPa, dan 61,75 MPa. Dibandingkan beton normal (0%) yang hanya mencapai 38,25 MPa pada umur 7 hari dan 46,75 MPa pada 28 hari, peningkatan ini cukup signifikan. Variasi 0,4% juga menunjukkan performa baik, dengan kuat tekan maksimal mencapai 70,00 MPa pada umur 14 hari. Hal ini menunjukkan bahwa dosis 0,6% merupakan komposisi paling optimal dalam meningkatkan kekuatan tekan beton
- Hasil uji porositas menunjukkan seluruh variasi memiliki daya serap air rendah (3–4%), dengan variasi 0,2% dan 0,4% menunjukkan serapan terendah (3%), menandakan beton lebih padat dan tahan terhadap air. Pada uji abrasi, beton normal memiliki keausan terendah (6,42%), disusul variasi 0,2% (6,67%), sedangkan variasi 0,4% dan 0,6% menunjukkan penurunan ketahanan aus (9,16% dan 8,84%). Secara keseluruhan, variasi 0,6% unggul dari segi kuat tekan dan masih layak dari sisi durabilitas, sehingga direkomendasikan sebagai campuran optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Mudiyo and N. S. Tsani, "Analisis Pengaruh Bentuk Paving Block Terhadap Kelendutan Perkerasan Jalan," *Rev. Civ. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 12–17, 2019, doi: 10.31002/rice.v3i1.1231.
- [2] L. Cahyono, A. P. Utomo, M. R. Fahmi, and N. E. Mayangsari, "Studi Kelayakan Material Paving Berbahan Limbah Insinerator Rumah Sakit," vol. 5, no. 1, pp. 52–56, 2024.

- [3] R. Maharaj, C. Maharaj, and A. Hosein, "Performance of waste polymer modified road paving materials," *Prog. Rubber, Plast. Recycl. Technol.*, vol. 34, no. 1, pp. 19–33, 2018, doi: 10.1177/147776061803400102.
- [4] PT Multi Eraguna Usaha, "Bestmittel," *Mergusa Chemie*, 2013, [Online]. Available: <http://www.mergusa-chemie.com/brosur/Additives-Concrete/Bestmittel.pdf>
- [5] M. H. Dermawan, "Model Kuat Tekan, Porositas dan Ketahanan Aus Proporsi Limbah Peleburan Besi dan Semen untuk Bahan Dasar Paving Block," *Tek. Sipil, Univ. Negeri Semarang*, vol. 13, no. 1, pp. 44–45, 2021.
- [6] F. Rohman, "Pembuatan Paving Block Berbahan Dasar Limbah Plastik Polyethylene, Bottom Ash Hasil Insenerasi Dan Bahan Tambahan Pasir," *Semin. Nas. Teknol. Ind. Hijau*, pp. 1–62, 2020.
- [7] H. Santosa; and Yuliati, "Penentuan Komposisi Lapisan Paving Block Untuk Mendapatkan Kuat Tekan Yang Optimal," *Sci. J. Widya Tek.*, vol. 21, no. 1, pp. 14–20, 2022.
- [8] R. Riduan, C. Heraningtyas, C. Abdi, and G. I. Mazaya, "Perencanaan Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan (Eko-Drainase) di Kecamatan Banjarbaru Utara," *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 22, no. 4, pp. 987–995, 2024, doi: 10.14710/jil.22.4.987-995.
- [9] M. T. Azikin, S. N. Ahmad, R. S. Nuhun, and M. Makmur, "Inovasi Teknologi Concrete Paving Block," vol. 7, no. November, pp. 299–306, 2019.
- [10] et al. Ariyani, S., "Pengaruh Aditif Bestmittel pada Percepatan Kekuatan Tekan Beton pada Usia Dini.," *J. Tek. Sipil*, vol. 12, no. 4, pp. 345–358, 2014.
- [11] D. Cheng, X. Li, X. Gao, X. Fan, R. Zhao, and T. Yang, "Influence of Polymer Latexes on the Properties of High Performance Cement-Based Materials," *Crystals*, vol. 12, no. 6, pp. 1–13, 2022, doi: 10.3390/cryst12060789.
- [12] R. Rahmawati, Z. Zulfadly, and J. Jamaluddin, "Perkerasan Kaku Jalan Pantai Dengan Menggunakan Pasir Laut," *J. Karajata Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 7–15, 2021, doi: 10.31850/karajata.v1i1.688.