

## Pengaruh Substitusi Limbah Granit dan Abu Sekam Padi terhadap Kuat Tekan, Slump, dan Daya Serap Air Beton

Esa Fajrah Habibillah<sup>1</sup>, Agyanata Tua Munthe<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Mercu Buana Jakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Mercu Buana Jakarta, Indonesia

\*Penulis korespondensi, email: [agyanata\\_tua@mercubuana.ac.id](mailto:agyanata_tua@mercubuana.ac.id)

**Abstrak**— Industri konstruksi mendorong inovasi beton ramah lingkungan atau green concrete guna mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu upaya yang dilakukan adalah memanfaatkan limbah seperti limbah granit (LG) dan abu sekam padi (ASP) sebagai substitusi agregat kasar dan halus. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi LG dan ASP terhadap kuat tekan, nilai slump, dan daya serap air beton. Metode eksperimen digunakan dengan lima variasi campuran: beton normal (TM1), dan beton dengan kombinasi 3–10% LG serta 10% ASP (TM2–TM5). Benda uji berupa silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm diuji pada umur 7, 14, dan 28 hari. Hasil menunjukkan kuat tekan tertinggi pada TM1 sebesar 22,83 MPa, dan terendah pada TM2 sebesar 16,30 MPa. Nilai slump tertinggi pada TM2 sebesar 13 cm, dan daya serap air terendah juga terjadi pada TM2 sebesar 0,78%. Temuan ini menunjukkan bahwa substitusi 10% ASP dan LG  $\leq 10\%$  masih dapat menghasilkan beton dengan sifat mekanik yang sesuai standar. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah menambahkan bahan tambahan kimia pada campuran LG rendah untuk meningkatkan kekuatan awal beton.

Kata kunci: limbah granit, abu sekam padi, kuat tekan, slump, daya serap air.

*This article is licensed under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.*

### 1. Pendahuluan

Beton merupakan material konstruksi yang sangat umum digunakan dalam berbagai proyek infrastruktur karena kekuatannya, durabilitasnya, serta kemudahan pembuatannya. Namun, seiring dengan meningkatnya kebutuhan terhadap beton, penggunaan material alam seperti pasir dan kerikil sebagai agregat turut meningkat dan dapat memicu degradasi lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengembangan beton ramah lingkungan atau green concrete dengan memanfaatkan limbah yang tersedia secara lokal [1], [2].

Limbah granit, yang berasal dari limbah industri pemotongan batu, dan abu sekam padi, limbah hasil pembakaran sekam pada industri pertanian, merupakan dua jenis limbah padat yang memiliki potensi sebagai bahan pengganti agregat pada beton [1], [3], [4]. Pemanfaatan kedua limbah ini sebagai bahan substitusi telah terbukti mempengaruhi karakteristik mekanik dan durabilitas beton, terutama pada kuat tekan, slump, dan daya serap air [2], [3], [5].

Penelitian [1], [5] menunjukkan bahwa penggunaan abu sekam padi sebagai substitusi agregat halus dapat memperbaiki performa beton, sedangkan limbah granit sebagai substitusi agregat kasar menunjukkan efek bervariasi tergantung pada persentasenya [6]. Penelitian lain juga mengindikasikan

bahwa komposisi dan bentuk agregat, serta penggabungan dengan bahan kimia seperti Sikacim, dapat meningkatkan kualitas beton secara signifikan [2], [3], [4], [7], [8].

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan akan material alternatif yang mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan. Selain itu, pengurangan limbah industri dan pertanian melalui pemanfaatan sebagai bahan konstruksi turut memberikan dampak positif terhadap lingkungan [9], [10], [11].

Penelitian ini juga memiliki kebaruan (*novelty*) berupa pendekatan eksperimental terhadap penggunaan kombinasi limbah granit dan abu sekam padi tanpa bahan kimia tambahan, serta menganalisis efeknya terhadap tiga parameter penting yaitu kuat tekan, slump, dan daya serap air [3], [5], [12].

Beberapa studi telah meneliti penggunaan limbah granit dan abu pertanian secara parsial dalam beton dengan hasil yang bervariasi [13], [14], [15]. Namun, eksplorasi terhadap kombinasi keduanya pada rentang substitusi spesifik (3–10% limbah granit dan 10% abu sekam padi) masih terbatas. Hal ini menjadi fokus dalam penelitian ini untuk memberikan rekomendasi komposisi yang optimal [16], [17], [18].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh substitusi limbah granit dan abu sekam padi terhadap kuat tekan, slump, dan daya serap air beton pada umur 7, 14, dan 28 hari. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan beton ramah lingkungan dengan kinerja yang tetap memenuhi standar teknis [19], [20].

## **2. Metode**

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen untuk menguji pengaruh substitusi material terhadap sifat mekanik beton. Tujuan dari metode ini adalah untuk mengetahui hubungan sebab-akibat antara variabel bebas dan variabel terikat dalam proses pembuatan beton. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah persentase substitusi agregat kasar dengan limbah granit (LG) dan agregat halus dengan abu sekam padi (ASP), sedangkan variabel terikatnya adalah hasil uji kuat tekan, nilai slump, dan daya serap air beton.

Variasi campuran yang digunakan terdiri dari lima jenis, yaitu beton normal tanpa substitusi (TM 1) sebagai kontrol, serta TM 2 hingga TM 5 dengan substitusi limbah granit masing-masing sebesar 3%, 5%, 8%, dan 10%, dan abu sekam padi sebesar 10% secara konstan. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dengan total sampel sebanyak 45 buah. Pengujian dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari setelah perawatan (*curing*) untuk mengamati perkembangan kekuatan beton.

Pengujian agregat halus meliputi gradasi, berat jenis dan penyerapan air, kadar lumpur, dan kadar air. Pengujian dilakukan untuk memastikan karakteristik material memenuhi syarat sebagai bahan penyusun beton. Sementara itu, agregat kasar juga diuji dengan metode serupa untuk menentukan distribusi ukuran butiran, berat jenis, penyerapan air, kadar lumpur, dan kadar air.

Selanjutnya, nilai slump diukur untuk mengetahui tingkat kelecakan beton sebagai indikator *workability* di lapangan. Uji kuat tekan dilakukan dengan menggunakan mesin tekan setelah proses *curing* untuk mengukur kekuatan tekan maksimum dari tiap variasi campuran. Selain itu, dilakukan juga uji daya serap air untuk mengetahui seberapa besar kemampuan beton dalam menyerap air melalui pori-pori internalnya, yang berkaitan dengan durabilitas beton terhadap lingkungan lembap.

Perencanaan campuran beton dilakukan melalui metode *mix design* dengan komposisi bahan berupa semen, agregat kasar, agregat halus, dan air tanpa penambahan bahan kimia tambahan. Tujuan dari

penyusunan campuran ini adalah untuk mencapai mutu rencana sebesar  $f'c$  20 MPa dengan efisiensi material dan hasil beton yang memenuhi standar kekuatan serta ketahanan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini diawali dengan pengujian karakteristik material agregat yang digunakan untuk campuran beton. Agregat halus yang digunakan adalah Pasir Tayan yang berasal dari Sungai Tayan, Kalimantan. Parameter yang diuji meliputi gradasi, berat jenis, penyerapan air, kadar lumpur, dan kadar air. Berdasarkan hasil uji gradasi yang ditunjukkan pada Tabel 1, distribusi butiran Pasir Tayan termasuk dalam batas gradasi pasir sedang sesuai dengan klasifikasi dalam SNI 03-2834-2000. Selanjutnya, hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air Pasir Tayan disajikan dalam Tabel 2, yang menunjukkan nilai berat jenis dan kadar air agregat halus memenuhi standar kelayakan untuk campuran beton. Pengujian kadar lumpur agregat halus yang disajikan dalam Tabel 3 menunjukkan kadar lumpur rata-rata sebesar 1,69%, masih di bawah batas maksimum 5%.

Tabel 1. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus

Ukuran Saringan (mm)	Berat Tertahan (gr)	Berat tertahan kum. (gr)	Lolos
0.5	-	-	1
4.75	29	29	0.98
2.36	115.7	144.7	0.91
1.18	339.3	484	0.69
0.6	387	871	0.44
0.3	356.6	1227.6	0.2
0.15	188.3	1415.9	0.08
0.075	125	1540.9	0.002
pan	2.7	1543.6	0
Total	1543.6		

Tabel 2. Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Simbol	Berat Sampel (gram)	
		I	II
Berat kering oven	S	500	500
Berat piknometer + air	A	661	668
Berat piknometer + sampel + air	B	973	980
Berat sampel SSD (Saturated Surface Dry)	C	509	510

Tabel 3. Data Awal Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Uraian	Simbol	Berat sampel (gram)	
		I	II
Berat agregat tertahan saringan 1.18mm	A	1000	1000
Berat agregat tertahan saringan 0.85mm	B	983.4	82.8

Pengujian agregat kasar dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisik Split Rumpin sebagai material substitusi. Hasil uji gradasi yang ditampilkan dalam Tabel 4 menunjukkan bahwa agregat kasar memiliki distribusi ukuran butiran yang masuk dalam batas gradasi kerikil maksimum 20 mm. Data berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5, sementara kadar lumpur ditunjukkan dalam Tabel 6 dengan nilai rata-rata sebesar 0,82%, yang juga berada dalam rentang aman.

Perencanaan campuran beton dilakukan menggunakan metode SNI 03-2834-2000, dengan komposisi awal beton normal disajikan pada Tabel 7, dan komposisi yang telah dikoreksi ditampilkan pada Tabel 8. Penyesuaian dilakukan untuk mencapai nilai faktor air-semen (FAS) sebesar 0,5. Variasi komposisi campuran beton untuk tiap trial mix ditunjukkan dalam Tabel 9, sedangkan distribusi per 10 sampel dapat dilihat pada Tabel 10. Variasi terdiri dari TM 1 (beton normal), TM 2 (3% LG + 10% ASP), TM 3 (5% LG + 10% ASP), TM 4 (8% LG + 10% ASP), dan TM 5 (10% LG + 10% ASP).

Tabel 4. Hasil Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan (mm)	Berat Tertahan (gr)	Berat tertahan kum. (gr)	Lolos
37.5	0	0	1
25.4	0	0	1
19	247.4	247.4	0.94
9.5	3003.5	3250.9	0.26
4.75	958.8	4209.7	0.04
2.36	132.2	4341.9	0.01
1.18	19.7	4361.6	0.004
0.6	5.7	4367.3	0.003
0.3	2.2	4369.5	0.002
0.15	1.3	4370.8	0.002
0.075	2.6	4373.4	0.001
pan	4.8	4378.2	0
Total	4378.2		

Tabel 5. Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Simbol	Berat Sampel (gram)	
		I	II
Berat kering oven	S	5000	3000
Berat piknometer + air	A	5032	3051
Berat piknometer + sampel + air	B	3110	1862
Berat sampel SSD (Saturated Surface Dry)	C	5000	3000

Tabel 6. Hasil Uji Kadar Lumpur Agregat Kasar

Saringan	Berat sebelum dicuci (gr)	Berat sebelum dicuci (gr)
	A	B
1½" – ¾"	550	548
¾" – ⅜"	450	447.95
Total (gram)	1000	995.95

Tabel 7. Komposisi Beton Normal

No	Berat sebelum dicuci (gr)	Berat sebelum dicuci (gr)
1	Semen	428.16
2	Air	205
3	Agregat Halus	665.67
4	Agregat Kasar	1041.17
Berat Beton		2340

Tabel 8. Komposisi Beton Terkoreksi

No	Berat sebelum dicuci (gr)	Berat sebelum dicuci (gr)
1	Semen	428.16
2	Air	214.43
3	Agregat Halus	666.34
4	Agregat Kasar	1031.07
Berat Beton		2340

Tabel 9. Komposisi Variasi Trial Mix per m<sup>3</sup>

Kode	Berat (kg/m <sup>3</sup> )					
	Semen	Air	Ag.halus	Ag.kasar	LG	ASP
TM 1	428.16	214.43	666.33	1031.17	0	0
TM 2	428.16	214.43	599.71	1000.14	30.93	66.63
TM 3	428.16	214.43	599.71	979.52	51.55	66.63
TM 4	428.16	214.43	599.71	948.59	82.48	66.63
TM 5	428.16	214.43	599.71	927.97	103.1	66.63
JML	2140.8	1072.15	3065.18	4887.29	268.06	266.52

Tabel 10. Komposisi Variasi Trial Mix per 10 Sampel

Kode	Berat (kg/m <sup>3</sup> )					
	Semen	Air	Ag.halus	Ag.kasar	LG	ASP
TM 1	22.69	11.37	35	54.66	0	0
TM 2	22.69	11.37	32	53.01	,1,64	33,53
TM 3	22.69	11.37	32	51.91	22,73	33,53
TM 4	22.69	11.37	32	50.28	44,37	33,53
TM 5	22.69	11.37	32	49.18	55,46	33,53
JML	113.46	56.85	##	259	114,21	114,13

Selanjutnya dilakukan pengujian nilai slump untuk menilai kelecakan (workability) beton segar. Hasil uji slump masing-masing variasi campuran disajikan dalam Tabel 11. Nilai slump tertinggi diperoleh pada TM 2 sebesar 13 cm, sedangkan nilai terendah terdapat pada TM 3 dan TM 5 masing-masing sebesar 11 cm. Semua nilai slump masih berada dalam batas toleransi yang ditetapkan, yaitu  $12 \pm 2$  cm. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun dilakukan substitusi material limbah, campuran beton tetap memiliki workability yang sesuai untuk pengerjaan di lapangan.

Tabel 11. Hasil Pengujian Slump

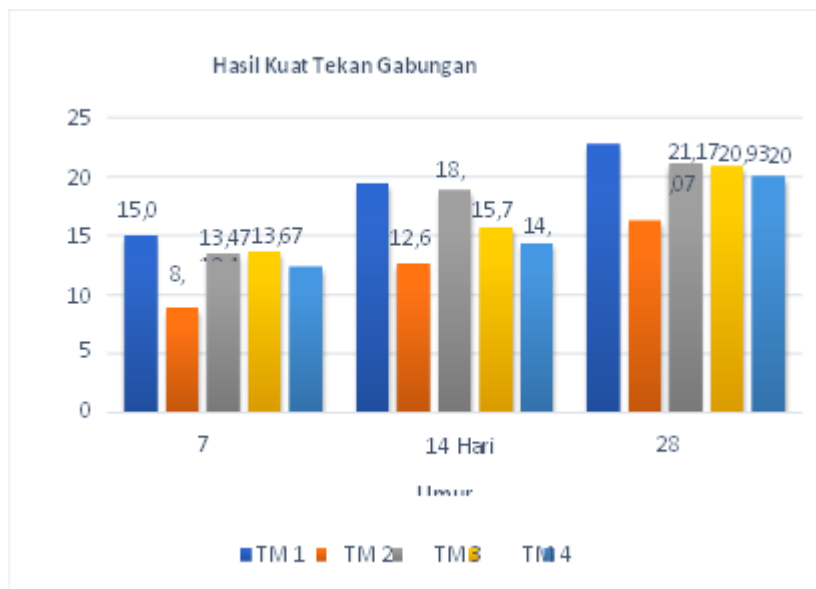
Kode	Trial Mix	Hasil Slump
TM 1	Beton f'c 20 (beton normal)	12 cm
TM 2	Beton f'c 20 + 3% LG + 10% ASP	13 cm
TM 3	Beton f'c 20 + 5% LG + 10% ASP	11 cm
TM 4	Beton f'c 20 + 8% LG + 10% ASP	12 cm
TM 5	Beton f'c 20 + 10% LG + 10% ASP	11 cm

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari menggunakan benda uji berbentuk silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Sebelum pengujian, dilakukan perawatan (curing) untuk menjaga kelembaban beton. Hasil kuat tekan 28 hari untuk tiap variasi campuran disajikan dalam Gambar 1. TM 1 (beton normal) menunjukkan nilai kuat tekan tertinggi sebesar 22,83 MPa, diikuti TM 3 (21,17 MPa), TM 4 (20,93 MPa), dan TM 5 (20,07 MPa). Hanya TM 2 yang tidak mencapai mutu rencana (f'c 20

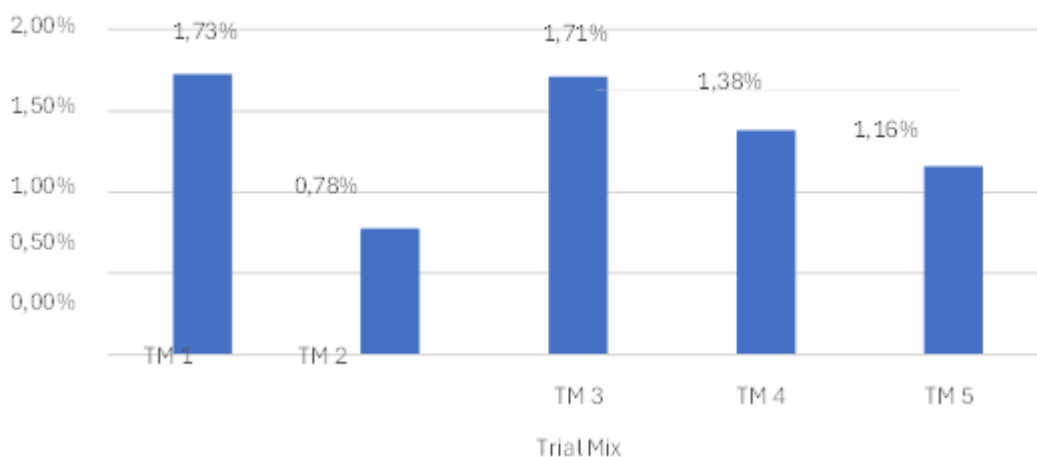
MPa) dengan hasil 16,30 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa substitusi limbah granit dalam jumlah kecil (3%) justru menurunkan performa kuat tekan beton, sedangkan pada rentang 5–10% masih mampu memenuhi mutu minimum struktural.

Uji daya serap air beton bertujuan untuk mengetahui tingkat kekedapan beton terhadap penetrasi air. Hasil pengujian kadar penyerapan air ditampilkan dalam Gambar 2. Beton normal (TM 1) memiliki nilai penyerapan air tertinggi sebesar 1,73%, sementara nilai terendah diperoleh pada TM 2 sebesar 0,78%. Semakin tinggi persentase limbah granit, nilai penyerapan air cenderung meningkat kembali. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan abu sekam padi berkontribusi terhadap peningkatan kekedapan beton, namun interaksi dengan limbah granit perlu dikaji lebih lanjut pada komposisi rendah (TM 2), karena meskipun memiliki kekedapan baik, kuat tekannya tidak memenuhi standar.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan abu sekam padi sebesar 10% dan limbah granit hingga 10% masih dapat digunakan sebagai substitusi agregat dalam beton dengan karakteristik mekanik yang memenuhi standar mutu. Namun, pada komposisi substitusi limbah granit terendah (3%), terjadi penurunan signifikan terhadap kuat tekan beton, meskipun memiliki keunggulan dari sisi kekedapan air. Temuan ini memberikan arahan bahwa kombinasi material limbah sebagai agregat pengganti perlu disesuaikan proporsinya secara optimal agar tidak mengorbankan kekuatan beton struktural.



Gambar 1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Gabungan



Gambar 2. Hasil Pengujian Kadar Penyerapan Air pada Beton

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan limbah granit (LG) sebagai substitusi agregat kasar dan abu sekam padi (ASP) sebagai substitusi agregat halus memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik beton, khususnya pada kuat tekan, nilai slump, dan daya serap air. Beton normal (TM 1) menunjukkan hasil terbaik dengan kuat tekan sebesar 22,83 MPa, sementara campuran dengan substitusi 3% LG dan 10% ASP (TM 2) menunjukkan hasil terendah sebesar 16,30 MPa. Variasi TM 3, TM 4, dan TM 5 masih memenuhi mutu rencana  $f'c$  20 MPa, dengan nilai kuat tekan di atas 20 MPa. Nilai slump tertinggi dicapai pada TM 2 sebesar 13 cm dan semua variasi campuran masih berada dalam batas rencana  $12 \pm 2$  cm, yang menunjukkan bahwa workability beton tetap terjaga. Dari sisi daya serap air, TM 2 menunjukkan nilai terendah sebesar 0,78%, yang menandakan beton lebih kedap air. Dengan demikian, substitusi 10% abu sekam padi dan 5–10% limbah granit masih layak digunakan dalam produksi beton ramah lingkungan, namun substitusi LG sebesar 3% perlu dikaji lebih lanjut karena berdampak negatif terhadap kekuatan tekan beton.

#### Daftar Pustaka

- [1] D. S. Devi, R. Nurmeyliandari, and A. P. Pramadona, "Pengaruh penggunaan abu sekam padi dan limbah granit terhadap kuat tekan beton," *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 74–82, 2024.
- [2] M. A. Yaqin and A. T. Munthe, "Studi Eksperimental Pemanfaatan Limbah Granit dan Abu Batu dengan Penambahan Sikacim terhadap Kinerja Mekanik dan Durabilitas Beton Normal," *Momentum Jurnal Inovasi dan Rekayasa Teknik Sipil (MJIRTS)*, vol. 1, no. 2, pp. 55–65, 2025.
- [3] E. Krisnanto and A. T. Munthe, "Pengaruh Substitusi Limbah Granit dan Limbah Botol Kaca terhadap Kuat Tekan, Slump, dan Daya Serap Beton dengan Penambahan Sikacim," *Momentum Jurnal Inovasi dan Rekayasa Teknik Sipil (MJIRTS)*, vol. 1, no. 2, pp. 35–43, 2025.
- [4] A. T. Munthe, "Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton dengan Substitusi Limbah Granit dan Abu Bonggol Jagung serta Penambahan Sikacim," *Jurnal Studi dan Aplikasi Teknik Sipil (JSATS)*, vol. 1, no. 2, pp. 31–40, 2025.
- [5] E. F. Habibillah, *Eksperimental Pemanfaatan Limbah Granit Sebagai Substitusi Agregat Kasar dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Agregat Halus terhadap Kuat Tekan Beton*, Skripsi, Universitas Mercu Buana-Buncit, 2024.
- [6] F. Hamdi et al., *Teknologi Beton*. Tohar Media, 2022.
- [7] P. A. Nugroho, *Analisis Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi (Rice Husk Ash) sebagai Upaya Pengurangan Penggunaan Semen Portland pada Beton Normal (menggunakan SNI 7656-2012)*, Skripsi, Universitas Pancasakti Tegal, 2020.
- [8] D. S. Devi and L. Marlina, "Pengaruh Penggunaan Serbuk Kayu Jati dan Sika Viscocrete terhadap Kuat Tekan Beton," *Jurnal Tekno Global*, vol. 13, no. 2, pp. 74–78, 2024.
- [9] B. H. Sitorus, *Beton Ramah Lingkungan dengan Menggunakan Kulit Kemiri sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan Beton*, 2022.
- [10] I. Hulu, *Beton Bermutu Ramah Lingkungan dengan Menggunakan Kulit Kemiri sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan Beton*, 2021.
- [11] N. A. Hasss, *Pengaruh Penambahan Abu Tongkol Jagung Hibrida (Zea Mays L.) terhadap Kuat Tekan Beton*, Skripsi, Universitas Hasanuddin, 2023.
- [12] E. R. N. I. A. T. I. Bachtiar and R. I. T. N. A. W. A. T. I. Makbul, *High Strength Concrete di Lingkungan Laut*, Fakultas Teknik Unifa, Makassar, 2022.
- [13] D. Adhiyanto and A. R. Budiman, *Pengaruh Bentuk Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan Beton, Kuat Lentur Beton, dan Absorpsi Beton*, Skripsi, Universitas Katolik Soegijapranata Semarang, 2024.
- [14] W. H. Prasetya, S. D. Setyawan, and C. S. Santoso, "Inovasi High Early Strength Concrete dengan Pemanfaatan Limbah Batu Granit, Cangkang Kerang dan Fly Ash," *Potensi*, vol. 2, no. 2, pp. 24–30, 2019.

- [15] L. C. Pratiwi and I. A. Wardana, “Pengaruh Limbah Granit dan Limbah Karbit sebagai Substitusi Semen terhadap Kuat Tekan Beton,” *Jurnal Kacapuri*, vol. 5, no. 1, pp. 381–389, 2022.
- [16] A. Prayogi, “Pengaruh Campuran Abu Sekam Padi dan Abu Arang Tempurung sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus terhadap Kuat Tekan Beton,” *STMJ*, vol. 1, no. 1, 2021.
- [17] M. Farhan, M. Nuklirullah, and F. F. Bahar, “Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi sebagai Bahan Tambahan terhadap Kuat Tekan Beton,” *Jurnal Teknik*, vol. 21, no. 1, 2023.
- [18] S. Hadi, “Pengaruh Penambahan Limbah Granit terhadap Kuat Tekan Beton,” *GARA*, vol. 14, no. 1, pp. 476–480, 2020.
- [19] A. Hidaayat, A. I. Candra, S. Winarto, and M. H. Nastotok, “Penambahan Abu Jerami dan Abu Sekam pada Beton Fc’ 18,68 MPa untuk Meningkatkan Kuat Tekan Beton,” *JURMATEKS*, vol. 4, no. 1, 2021.
- [20] Mardiaman, A. Fadly, and Indriasari, “Pengaruh Penambahan Batu Granit dan Rambut sebagai Filler terhadap Kuat Tekan dan Lentur Beton,” *CENTECH*, vol. 3, no. 1, pp. 11–22, 2022.