

## Studi Eksperimental Pemanfaatan Limbah Granit dan Abu Batu dengan Penambahan Sikacim terhadap Kinerja Mekanik dan Durabilitas Beton Normal

Mahfudz Ainul Yaqin<sup>1</sup>, Agyanata Tua Munthe<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta, Indonesia,  
[mahfudzainul@gmail.com](mailto:mahfudzainul@gmail.com)

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta, Indonesia,  
[agyanata\\_tua@mercubuana.ac.id](mailto:agyanata_tua@mercubuana.ac.id)

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

**Abstrak**—Kebutuhan akan material beton ramah lingkungan mendorong pemanfaatan limbah sebagai bahan substitusi agregat. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh limbah granit sebagai substitusi agregat kasar dan abu batu sebagai substitusi agregat halus, dengan penambahan Sikacim, terhadap kinerja beton normal. Metode yang digunakan adalah studi eksperimental dengan lima variasi campuran: beton normal dan empat campuran dengan 3–10% limbah granit, 40% abu batu, serta 0,7% Sikacim dari berat semen. Pengujian meliputi slump, kuat tekan pada umur 7, 14, dan 28 hari, serta daya serap air. Hasil menunjukkan variasi dengan 10% limbah granit menghasilkan kuat tekan 45,25 MPa, mendekati beton normal sebesar 49,80 MPa. Nilai slump berkisar antara 10–11 cm, masih dalam batas standar. Daya serap air terendah tercapai pada variasi tertinggi yaitu 0,68%, dibandingkan beton normal sebesar 1,67%. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan limbah granit dan abu batu dengan Sikacim dapat menjadi alternatif material beton yang layak dan ramah lingkungan. Direkomendasikan penelitian lanjutan terhadap variasi ukuran partikel dan komposisi aditif untuk meningkatkan performa beton.

Kata kunci: Limbah granit, abu batu, kuat tekan beton, sikacim

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

### 1. Pendahuluan

Pertumbuhan industri konstruksi yang pesat meningkatkan permintaan beton sebagai material utama. Namun, penggunaan agregat alam secara masif menimbulkan kekhawatiran terhadap kelestarian lingkungan [1], [2]. Akibatnya, muncul kebutuhan untuk mengeksplorasi alternatif bahan penyusun beton yang lebih ramah lingkungan, seperti limbah granit dan abu batu. Limbah-limbah ini seringkali belum dimanfaatkan secara optimal, padahal berpotensi menggantikan agregat konvensional dalam campuran beton normal [3], [4]. Permasalahannya adalah sejauh mana efektivitas kombinasi kedua limbah tersebut, terutama bila dikombinasikan dengan aditif seperti Sikacim, terhadap sifat mekanik dan durabilitas beton. Secara lebih spesifik, masalah yang ingin dijawab dalam penelitian ini adalah: (1) Apakah substitusi limbah granit (3–10%) sebagai agregat kasar dapat mempertahankan atau meningkatkan kuat tekan beton normal? (2) Bagaimana pengaruh abu batu sebesar 40% sebagai agregat halus terhadap slump dan kuat tekan? (3) Seberapa besar peran penambahan Sikacim sebesar 0,7% dalam meningkatkan durabilitas beton melalui penurunan daya serap air? Pertanyaan-pertanyaan ini penting untuk memastikan bahwa penggunaan limbah tidak hanya mengurangi dampak lingkungan,

tetapi juga tetap memenuhi kinerja teknis yang disyaratkan [5]–[8].

Urgensi penelitian ini didasarkan pada pentingnya implementasi prinsip keberlanjutan dan ekonomi sirkular di sektor konstruksi [9], [10]. Limbah granit memiliki sifat mekanik yang baik dan kedap air, sedangkan abu batu memiliki gradasi partikel yang sesuai dengan agregat halus [11], [12]. Studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa limbah granit dan abu batu dapat mempengaruhi kekuatan tekan dan workability beton secara signifikan [13], [14]. Penambahan bahan aditif seperti Sikacim juga terbukti mampu meningkatkan performa beton, termasuk percepatan pengerasan dan pengurangan kebutuhan air [15], [16]. Namun, masih sedikit penelitian yang menggabungkan ketiga bahan ini dalam satu formulasi beton secara eksperimental [17].

Novelty penelitian ini terletak pada pendekatan simultan penggunaan limbah granit, abu batu, dan Sikacim dalam campuran beton normal mutu 30 MPa. Studi sebelumnya lebih banyak meneliti pengaruh masing-masing limbah atau aditif secara terpisah, misalnya hanya limbah kaca [18], abu vulkanik [19], pasir bauksit [20], pasir silika [21], maupun abu sekam padi [22]. Selain itu, penelitian ini memberikan kontribusi pada pemahaman terhadap interaksi antara substitusi agregat dan bahan aditif dalam konteks peningkatan kuat tekan, nilai slump, dan daya serap air beton [23], [24]. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh substitusi limbah granit dan abu batu, serta penambahan Sikacim terhadap kinerja beton normal. Adapun tujuan khususnya meliputi: (1) Menganalisis kuat tekan beton pada umur 7, 14, dan 28 hari; (2) Mengevaluasi workability beton melalui uji slump; dan (3) Mengukur daya serap air sebagai indikator durabilitas. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan dasar ilmiah untuk pemanfaatan limbah sebagai material alternatif yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan dalam teknologi beton [25]–[30].

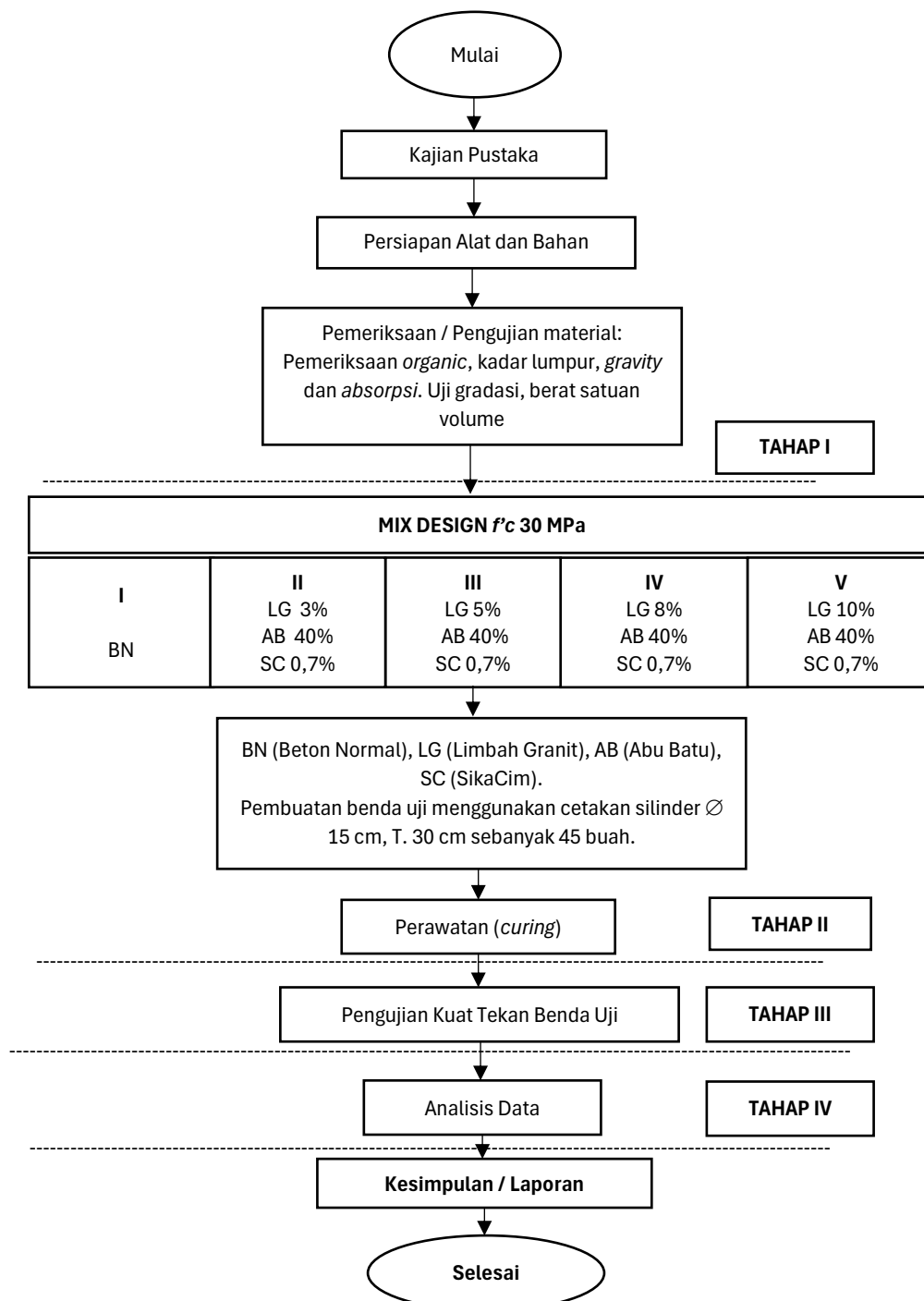
## 2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mengevaluasi pengaruh substitusi limbah granit dan abu batu dengan penambahan Sikacim terhadap kinerja beton normal. Pendekatan eksperimental dipilih karena mampu memberikan data empiris secara langsung melalui pengujian laboratorium. Beton dengan mutu rencana  $f'c = 30$  MPa digunakan sebagai kontrol, kemudian dibandingkan dengan beberapa variasi campuran beton yang menggunakan limbah sebagai bahan substitusi. Variasi campuran dilakukan dengan mengganti sebagian agregat kasar menggunakan limbah granit sebanyak 3%, 5%, 8%, dan 10% dari total berat agregat kasar. Abu batu digunakan secara konsisten sebanyak 40% sebagai substitusi agregat halus. Untuk memperbaiki workability dan mempercepat pencapaian kuat tekan awal, ditambahkan bahan aditif Sikacim sebesar 0,7% dari berat semen. Komposisi lengkap dari tiap variasi campuran dapat dilihat pada Tabel 1, yang mencakup proporsi batu pecah, limbah granit, pasir, abu batu, semen, Sikacim, air, dan Notasi.

Tabel 1. Komposisi Campuran

No.	Batu Pecah	Limbah Granit	Pasir	Abu Batu	Semen	Sikacim	Air	Notasi	Jumlah Sampel
	a	b	c	d	e	f	g	BN	9
1	97%	3%	60%	40%	e	0,7%	g	LG 3 AB 40 SC 0,7	9
2	95%	5%	60%	40%	e	0,7%	g	LG 5 AB 40 SC 0,7	9
3	92%	8%	60%	40%	e	0,7%	g	LG 8 ABJ 40 SC 0,7	9
4	90%	10%	60%	40%	e	0,7%	g	LG 10 ABJ 40 SC 0,7	9
Total Benda Uji									45

Pengujian dilakukan terhadap benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Jumlah total benda uji adalah 45 sampel, masing-masing variasi terdiri dari 9 sampel. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari untuk mengetahui perkembangan kekuatan seiring waktu. Dengan cara ini, pengaruh variasi substitusi terhadap karakteristik beton dapat dievaluasi secara menyeluruh, terutama dalam hal kuat tekan, slump, dan daya serap air. Pelaksanaan eksperimen dilakukan di UPTD Laboratorium Konstruksi, Dinas Sumber Daya Air, Bina Marga dan Bina Konstruksi Kota Tangerang Selatan, yang berlokasi di Jl. Promoter No. 3 Kawasan Perkantoran Lengkong Wetan, Kecamatan Serpong, Kota Tangerang Selatan. Rangkaian tahapan pelaksanaan penelitian ini—mulai dari kajian pustaka, persiapan material dan alat, proses mix design, pembuatan benda uji, hingga pengujian dan analisis data—digambarkan secara sistematis dalam Diagram Alir Penelitian pada Gambar 1.



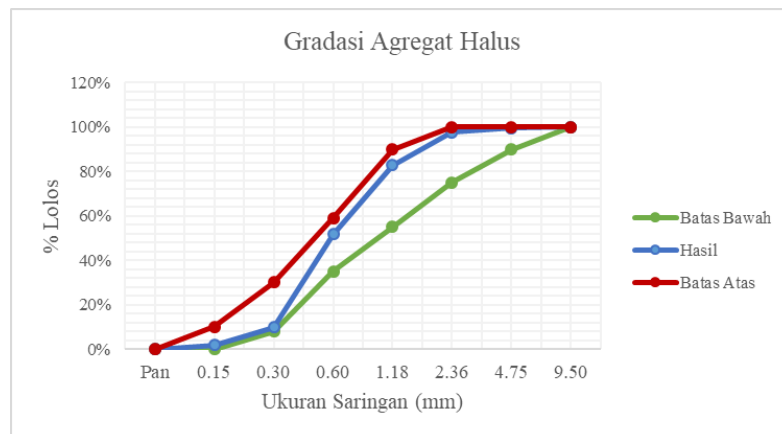
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 3. Hasil dan Pembahasan

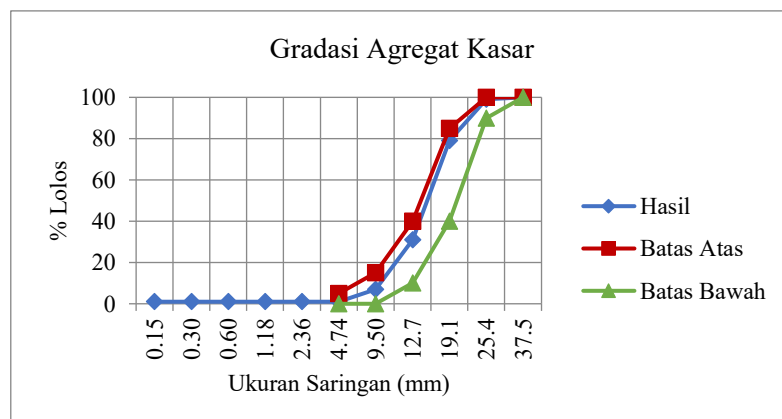
Penelitian ini diawali dengan pengujian karakteristik material untuk memastikan kecocokan bahan terhadap campuran beton. Hasil analisis saringan agregat halus menunjukkan bahwa material pasir memiliki modulus kehalusan sebesar 2,57%. Berdasarkan SNI 03-2834-2000, nilai ini berada dalam rentang standar yang disyaratkan, yaitu 1,50% hingga 3,80%, sehingga pasir tersebut layak digunakan dalam campuran beton (Gambar 2). Sementara itu, hasil analisis saringan agregat kasar (Gambar 3) menunjukkan bahwa gradasinya berada dalam batas ukuran kerikil maksimum 25 mm, yang juga memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan agregat kasar.

Selanjutnya, dilakukan pengujian kadar air. Agregat halus memiliki kadar air sebesar 6,9% sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2, sedangkan agregat kasar memiliki kadar air 1,3% (Tabel 3). Kedua nilai ini penting sebagai acuan dalam penyesuaian jumlah air dalam proses mix design. Selain itu, hasil uji berat jenis dan penyerapan air agregat juga diperoleh. Untuk agregat halus, berat jenis curah kering sebesar 2,55 dan penyerapan air 1,38%, sedangkan untuk agregat kasar, berat jenis curah kering sebesar 2,693 dan penyerapan air 1,86% (Tabel 4 dan Tabel 5). Data ini digunakan sebagai input penting dalam perhitungan campuran beton.

Berdasarkan hasil karakteristik material tersebut, dilakukan perencanaan mix design beton dengan mutu  $f'c$  30 MPa sebagaimana dirinci pada Tabel 6. Dalam perencanaan, diperoleh komposisi bahan per meter kubik beton serta perhitungan kebutuhan bahan untuk 9 sampel beton normal dan 36 sampel beton variasi (Tabel 7 dan Tabel 8). Variasi campuran meliputi penggunaan limbah granit sebanyak 3%, 5%, 8%, dan 10% sebagai pengganti agregat kasar, abu batu sebesar 40% sebagai pengganti agregat halus, serta penambahan Sikacim sebesar 0,7% dari berat semen.



Gambar 2. Grafik Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus



Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Tabel 2. Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Pengujian Kadar Air Agregat Halus		
	Berat Uji	Satuan
Berat Wadah + Benda Uji	1130	gr
Berat Wadah	130	gr
Berat Benda Uji (W1)	1000	gr
Berat Wadah + Benda Uji Kering Oven	1065,5	gr
Berat Benda Uji Kering Oven (W2)	935,5	gr
Kadar Air	6,9%	gr

Tabel 3. Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

Pengujian Kadar Air Agregat Kasar		
	Berat Uji	Satuan
Berat Wadah + Benda Uji	4210	gr
Berat Wadah	210	gr
Berat Benda Uji (W1)	4000	gr
Berat Wadah + Benda Uji Kering Oven	4160	gr
Berat Benda Uji Kering Oven (W2)	3950	gr
Kadar Air	1,3%	gr

Tabel 4. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat halus			
Pengujian	Notasi	Berat	Satuan
Berat Benda Uji Kondisi Jenuh Kering Permukaan	S	500	gr
Berat Benda Uji Kering Oven	A	493,2	gr
Berat Piknometer + Air	B	646,5	gr
Berat Piknometer + Benda Uji + Air	C	953	gr
Perhitungan	Notasi	Hasil	Satuan
Berat Jenis Curah Kering (Sd)	$\frac{A}{B + S - C}$	2,55	gr
Berat Jenis Curah Jenuh Kering Permukaan (Ss)	$\frac{S}{B + S - C}$	2,58	gr
Berat Jenis Semu (Sa)	$\frac{A}{B + A - C}$	2,64	gr
Penyerapan Air (Sw)	$\frac{(S - A)}{A} \times 100\%$	1,38	gr

Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar			
Pengujian	Notasi	Berat	Satuan
Berat Jenis Curah Kering	A	5000	gr
Berat Jenis Curah Jenuh Kering Permukaan di Udara	B	4907	gr
Berat Benda Uji dalam Air	C	3050	gr
Perhitungan	Notasi	Hasil	Satuan
Berat Jenis Curah Kering (Sd)	$\frac{A}{B - C}$	2,693	gr
Berat Jenis Curah Jenuh Kering Permukaan (Ss)	$\frac{B}{B - C}$	2,642	gr

Berat Jenis Semu (Sa)	$\frac{A}{A - C}$	2,564	gr
Penyerapan Air (Sw)	$\frac{(B - A)}{A} \times 100\%$	1,860	gr

Tabel 6. Data Hasil Perhitungan *Mix Design* Beton Normal 30 MPa

Perencanaan <i>Mix Design</i> Beton Normal Mutu 30 MPa		
Parameter	Nilai	Satuan
$f'c$	30	MPa
Slump	60 - 180	mm
Agregat Max	25	mm
Air	148,20	kg/m <sup>3</sup>
Berat kering oven Ag. Kasar	1005,99	kg/m <sup>3</sup>
Berat Beton	2372,50	kg/m <sup>3</sup>
Modulus Kehalusan Ag. Halus	2,57	%
Berat jenis (SSD) Ag. Halus	2,58	gr
Berat jenis (SSD) Ag. Kasar	2,64	gr
Penyerapan air Ag. Halus	1,38	%
Penyerapan air Ag. Kasar	1,86	%

Tabel 7. Kebutuhan Komposisi Beton Normal

Bahan Beton	Berat Beton /M <sup>3</sup> (Kg)	Volume Benda Uji ( M <sup>3</sup> )	Berat Untuk 1 Sampel (Kg)	Berat Untuk 9 Sampel (Kg)
Air	148,20	0,0053	0,79	7,07
Semen	525,64		2,79	25,07
Agregat Kasar	1005,99		5,33	47,97
Agregat Halus	692,66		3,67	33,03
Jumlah	2372,50		12,57	113,14

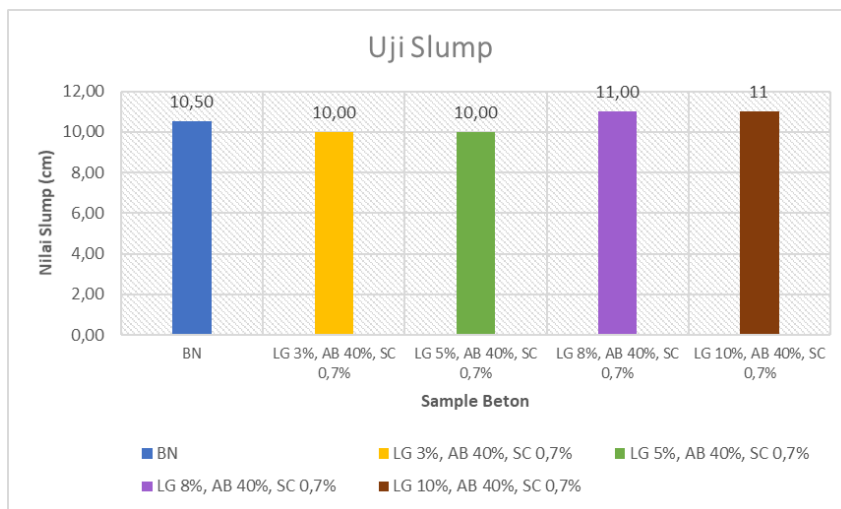
Tabel 8. Kebutuhan Komposisi Beton Variasi

Proporsi Campuran	LG 3 %	LG 5%	LG 8 %	LG 10 %	Jumlah (Kg)
	AB 40 % SC 0,7 %	AB 40 % SC 0,7 %	AB 40 % SC 0,7 %	AB 40 % SC 0,7 %	
Air (kg)	7,07	7,07	7,07	7,07	21,20
Semen (kg)	25,07	25,07	25,07	25,07	100,28
Aggregat Kasar (kg)	46,53	45,57	44,13	43,17	179,40
Aggregat Halus (kg)	19,82	19,82	19,82	19,82	79,28
Limbah Granit (kg)	1,44	2,40	3,84	4,80	12,48
Abu Batu (kg)	13,21	13,21	13,21	13,21	52,84
Sikacim	0,18	0,18	0,18	0,18	0,53
Jumlah	113,32	113,32	113,32	113,32	453,28

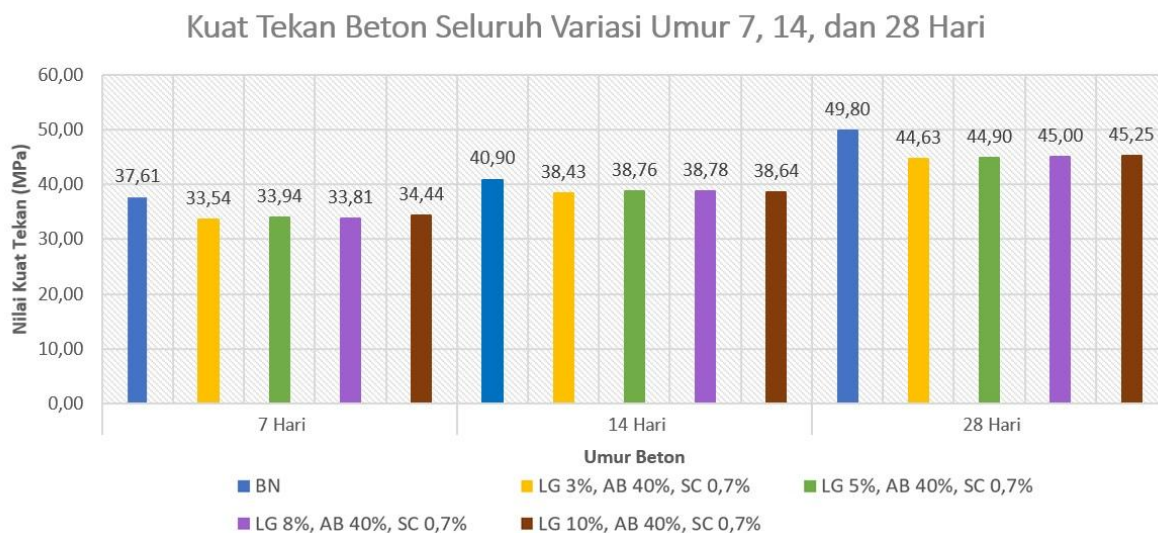
Hasil uji slump pada masing-masing variasi campuran disajikan pada Gambar 4. Beton normal menunjukkan nilai slump sebesar 10,5 cm. Campuran LG 3% dan LG 5% menunjukkan nilai slump sebesar 10 cm, sedikit lebih rendah dari beton normal. Sementara itu, campuran LG 8% dan LG 10% justru memiliki slump sebesar 11 cm. Hal ini menunjukkan bahwa variasi dengan kandungan LG lebih tinggi cenderung meningkatkan workability. Hal ini dapat dijelaskan karena limbah granit memiliki pori yang lebih kecil sehingga tidak menyerap air berlebihan. Di sisi lain, abu batu memiliki daya serap lebih tinggi daripada pasir, namun dalam proporsi 40% masih memberikan nilai slump yang stabil. Peran Sikacim sebagai superplasticizer juga terbukti mampu menjaga konsistensi dan kelenturan beton segar.

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari. Hasil perbandingan ditampilkan dalam Gambar 5. Terlihat bahwa beton normal (BN) memiliki kuat tekan tertinggi yaitu 49,80 MPa pada umur 28 hari. Semua variasi campuran beton dengan LG, AB, dan SC menunjukkan sedikit penurunan kuat tekan dibanding BN, namun tetap berada dalam rentang yang dapat diterima secara struktural. Nilai kuat tekan tertinggi dari variasi campuran diperoleh pada LG 10%, AB 40%, dan SC 0,7% yaitu sebesar 45,25 MPa. Kecenderungan ini menunjukkan bahwa peningkatan LG dalam campuran dapat meningkatkan ikatan antar partikel, serta bahwa penggunaan Sikacim mendukung pembentukan pasta semen yang lebih padat, meski tetap tidak dapat sepenuhnya menyamai beton normal.

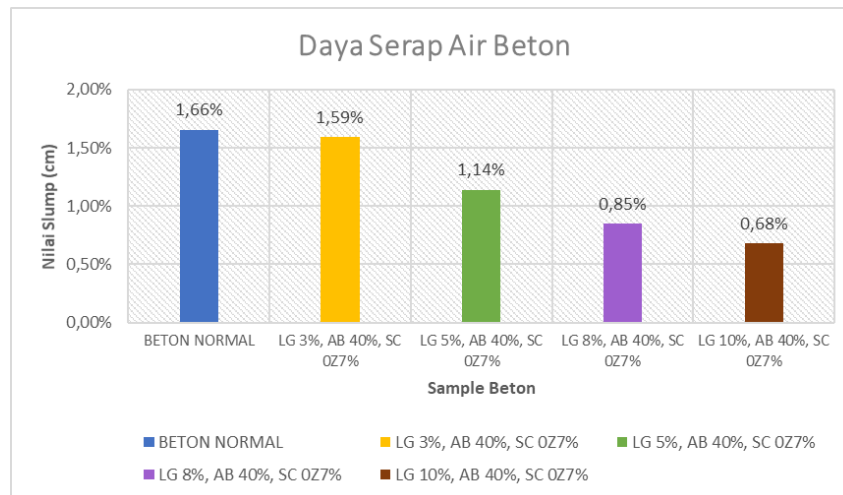
Hasil pengujian daya serap air beton disajikan pada Gambar 6. Daya serap air tertinggi diperoleh pada beton normal sebesar 1,67%, sedangkan yang terendah pada variasi LG 10% sebesar 0,68%. Penurunan daya serap air ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi persentase limbah granit yang digunakan, semakin rendah porositas beton, sehingga beton menjadi lebih tahan terhadap penetrasi air. Limbah granit dengan kepadatan tinggi memberikan struktur yang lebih kompak, sementara Sikacim berkontribusi dalam mengisi celah mikro di dalam beton, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap air. Namun, abu batu dengan daya serap air tinggi berpotensi meningkatkan porositas jika digunakan dalam kadar berlebihan, meskipun dalam penelitian ini tetap dalam batas aman.



Gambar 4. Diagram Hasil Slump



Gambar 5. Diagram Hasil Kuat Tekan Beton



Gambar 6. Diagram Daya Serap Air

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi limbah granit, abu batu, dan Sikacim memberikan performa yang baik terhadap kinerja mekanik dan durabilitas beton. Variasi terbaik adalah LG 10% dengan kombinasi AB 40% dan SC 0,7% yang menghasilkan kekuatan tekan tinggi, workability stabil, dan daya serap air yang rendah.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan limbah granit sebagai substitusi sebagian agregat kasar, abu batu sebagai substitusi agregat halus, serta penambahan aditif Sikacim sebesar 0,7% memberikan pengaruh yang nyata terhadap kinerja mekanik dan durabilitas beton normal. Variasi campuran dengan persentase limbah granit sebesar 10%, abu batu 40%, dan Sikacim 0,7% menunjukkan performa terbaik dalam hal kuat tekan, workability, dan daya serap air. Kuat tekan beton pada variasi tersebut mencapai 45,25 MPa pada umur 28 hari, mendekati kuat tekan beton normal sebesar 49,80 MPa, yang menunjukkan bahwa substitusi tersebut masih berada dalam batas struktur yang dapat diterima. Nilai slump pada seluruh variasi campuran juga berada dalam rentang standar, menunjukkan bahwa campuran memiliki tingkat kelecakan (workability) yang baik. Selain itu, daya serap air menunjukkan tren penurunan seiring meningkatnya persentase limbah granit, di mana variasi LG 10% memiliki daya serap air terendah sebesar 0,68%, menunjukkan peningkatan durabilitas beton. Dengan demikian, kombinasi material limbah granit, abu batu, dan Sikacim dapat direkomendasikan sebagai alternatif material beton yang ramah lingkungan dan layak secara teknis untuk diterapkan dalam proyek konstruksi beton normal.

#### Daftar Pustaka

- [1] M. L. Kamaruzzaman, "Implementing Building Information Modeling (BIM) in Construction: Benefits [1] H. A. Fiery and A. T. Munthe, "Pemanfaatan Limbah Botol Kaca dan Limbah Granit Sebagai Substitusi Agregat Kasar dengan Penambahan Sikacim Pada Kuat Tekan Beton," *Jurnal TESLINK: Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 7, no. 1, pp. 92–104, 2025.
- [2] A. Maharani, *Studi Eksperimental Penggunaan Bottom Ash Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton AC-WC*, Doctoral dissertation, Universitas Fajar, 2022.
- [3] F. A. Lubis, *Pengaruh Penambahan Limbah Banner dan Perikat Sikacim Concrete Additive Terhadap Karakteristik Batako*, Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, 2022.
- [4] A. K. Nasution, J. Tarigan, and A. P. Mulia, "Kuat Tekan dan Tarik Beton Mutu Tinggi dengan Menggunakan PP Fibre dan Abu Vulkanik Gunung Sinabung," *Jurnal Syntax Admiration*, vol. 2, no. 10, pp. 1797–1807, 2021.

- [5] Y. Maulidiana, *Analisis Kuat Tekan Beton Non Struktural dengan Serbuk Biji Salak sebagai Bahan Campuran Beton*, Doctoral dissertation, Universitas Islam Lamongan, 2021.
- [6] Y. Maulidiana, *Analisis Kuat Tekan Beton Non Struktural dengan Serbuk Biji Salak sebagai Bahan Campuran Beton*, Doctoral dissertation, Universitas Islam Lamongan, 2021.
- [7] A. Setiawan, *Pengaruh Campuran Superplasticizer dan Limbah Batu Bata Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan Beton K-175*, Doctoral dissertation, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Teknik Sipil, 2023.
- [8] R. Amrulloh and T. N. Pamungkas, *Perbandingan Abu Sekam Padi dan Abu Limbah Kayu sebagai Bahan Tambahan pada Campuran Beton terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton*, Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang, 2025.
- [9] R. A. Putra, *Pengaruh Air Laut pada Kuat Lentur Beton dengan Menggunakan Fly Ash sebagai Substitusi Semen*, Doctoral dissertation, Universitas Fajar, 2022.
- [10] R. P. Concrete, "Tinjauan Sifat Mekanis Reactive Powder Concrete melalui Perlakuan Uap dengan Abu Sekam Padi sebagai Alternatif Material Pozzolan," 2024.
- [11] P. Y. Azzahra, *Pemanfaatan Pasir Bauksit Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi*, Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia, 2024.
- [12] N. W. Ahmad and M. A. Shaputra, *Pengaruh Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus terhadap Sifat-Sifat Teknis Beton*, Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang, 2025.
- [13] E. Suhelmidawati, G. Yaldi, Z. Mirani, F. Yufajri, and M. Ikhsan, "Penggunaan Pasir dan Kerikil Silika dari Sisa Penambangan Batu Kapur sebagai Substitusi Agregat untuk Perkerasan Jalan Kaku," *Jurnal Jalan Jembatan*, vol. 40, no. 1, pp. 54–66, 2023.
- [14] M. H. Arbi, "Pengaruh Substitusi Cangkang Kerang dengan Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton," *Lentera: Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*, no. 147421, 2015.
- [15] A. A. Ibrahim, *Pemanfaatan Limbah Granit Sebagai Substitusi Agregat Kasar dan Limbah Abu Bonggol Jagung Sebagai Substitusi Semen pada Kuat Tekan Beton*, Tugas Akhir, Universitas Mercu Buana, 2024.
- [16] Badan Pusat Statistik, "Luas panen jagung," 2023. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id>
- [17] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 4156:2008 Cara Uji Slump*. Jakarta: BSN, 2008.
- [18] Badan Standarisasi Nasional, *SK SNI 04-1989-F Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam)*. Bandung: BSN, 1989.
- [19] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Jakarta: BSN, 1990.
- [20] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 03-1971-1990 Metode Pengujian Kadar Air Agregat*. Jakarta: BSN, 1990.
- [21] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 03-2914-1992 Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air*. Bandung: BSN, 1992.
- [22] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Bandung: BSN, 2000.
- [23] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 1974:2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta: BSN, 2011.
- [24] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 7656-2012 Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa*. Bandung: BSN, 2012.
- [25] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 1969:2016 Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Jakarta: BSN, 2016.
- [26] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 1970:2016 Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Jakarta: BSN, 2016.
- [27] S. Hadi, "Pengaruh Penambahan Limbah Granit Terhadap Kuat Tekan Beton," *Ganec Swara*, vol. 14, no. 1, pp. 476–480, 2020.
- [28] M. P. H. Itu, H. Parung, and J. Mara, *Studi Pemanfaatan Abu Bonggol Jagung Sebagai Bahan Substitusi Semen Untuk Beton Normal*.
- [29] Sika Indonesia, *Product Data Sheet*, ver. 02.01, 2021. [Online]. Available: <https://idn.sika.com>

- [30] N. L. Wahyuni and N. Rasidi, "Analisis Pengaruh Penambahan Sikacim Concrete Additive dan Kapur pada Beton Normal," *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK)*, vol. 3, no. 2, pp. 125–130, 2022.