

## Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton dengan Substitusi Limbah Granit dan Abu Bonggol Jagung serta Penambahan Sikacim

Mulyana<sup>1</sup>, Agyanata Tua Munthe<sup>2\*</sup>

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

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, 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**— Permintaan terhadap beton ramah lingkungan mendorong pemanfaatan limbah sebagai bahan substitusi dalam campuran beton. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh penggunaan limbah granit sebagai substitusi agregat kasar dan abu bonggol jagung sebagai substitusi semen dengan penambahan Sikacim terhadap sifat mekanis dan fisik beton. Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan mutu rencana  $f'c$  30 MPa. Variasi campuran meliputi LG 3%, 5%, dan 8% serta ABJ 4% dan SC 0,7%. Hasil menunjukkan bahwa nilai slump meningkat seiring persentase limbah, berkisar antara 10–11 cm, dan masih memenuhi standar. Kuat tekan tertinggi dicapai pada variasi LG 5% dengan nilai 44,46 MPa, meskipun lebih rendah dari beton normal (49,80 MPa), tetapi tetap di atas mutu rencana. Daya serap air meningkat pada beton variasi, namun tetap di bawah batas maksimum 6%. Dapat disimpulkan bahwa kombinasi limbah granit, abu bonggol jagung, dan Sikacim masih menghasilkan beton dengan kualitas baik. Penelitian ini merekomendasikan batas substitusi optimal limbah granit sebesar 5% untuk menjaga keseimbangan antara kekuatan, kelecakan, dan ketahanan terhadap air.

Kata kunci: Abu bonggol jagung, kuat tekan beton, limbah granit, sikacim.

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

### 1. Pendahuluan

Kebutuhan akan beton sebagai material utama dalam konstruksi terus meningkat seiring dengan perkembangan pembangunan infrastruktur di berbagai negara, termasuk Indonesia. Beton dipilih karena memiliki sejumlah keunggulan, seperti kekuatan tekan yang tinggi, kemudahan dalam pembentukan, ketahanan terhadap api, serta ketersediaan bahan penyusun yang relatif melimpah [1], [2]. Namun, seiring meningkatnya konsumsi beton, ketersediaan bahan-bahan penyusunnya, terutama agregat kasar dan semen, menjadi tantangan tersendiri karena keterbatasan sumber daya alam dan tingginya biaya produksi [3], [4]. Di sisi lain, industri konstruksi dituntut untuk mengembangkan inovasi material ramah lingkungan atau green concrete, yang tidak hanya kuat secara struktural tetapi juga berkontribusi terhadap keberlanjutan lingkungan [5]–[7].

Secara khusus, pemanfaatan limbah industri dan pertanian sebagai bahan substitusi dalam campuran beton mulai banyak diteliti. Limbah granit, sebagai hasil samping industri pemotongan batu alam, memiliki potensi sebagai agregat kasar pengganti karena karakteristik fisiknya yang keras dan tahan lama [8], [9]. Sementara itu, abu bonggol jagung merupakan limbah pertanian yang kaya akan kandungan silika, sehingga berpotensi memberikan reaksi pozzolanik jika digunakan sebagai substitusi sebagian semen [10], [11]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan abu pertanian dapat memperbaiki

kinerja beton pada kadar tertentu [12], [13]. Namun demikian, efisiensi pencampuran bahan limbah ini sangat bergantung pada proporsi pencampuran yang tepat, karakteristik fisik dan kimianya, serta interaksi dengan bahan tambah lain seperti admixture [14], [15]. Salah satu admixture yang sering digunakan adalah Sikacim, yang mampu meningkatkan workability dan mempercepat pembentukan kekuatan awal beton [16], [17].

Urgensi penelitian ini terletak pada upaya mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya alam konvensional dalam penyusunan beton, sekaligus mengurangi beban limbah industri dan pertanian terhadap lingkungan. Penggunaan limbah sebagai substitusi material konvensional dinilai dapat mengurangi eksploitasi sumber daya alam sekaligus memberikan nilai tambah pada limbah itu sendiri [18]–[20]. Mengingat bahwa limbah granit dan abu bonggol jagung kerap dianggap sebagai residu tak bernilai ekonomi, maka pendekatan circular economy dalam penelitian ini berkontribusi pada pengelolaan limbah yang berkelanjutan di sektor konstruksi [21], [22].

Novelty dari penelitian ini terletak pada kombinasi pemanfaatan dua jenis limbah berbeda—limbah granit sebagai substitusi agregat kasar dan abu bonggol jagung sebagai substitusi semen—yang dikombinasikan dengan penambahan admixture Sikacim dalam campuran beton mutu  $f'c$  30 MPa. Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya menguji satu jenis limbah atau tidak mengkombinasikannya dengan chemical admixture dalam sistem kontrol yang sama [23]–[25]. Dengan desain campuran yang sistematis dan pengujian kuat tekan, slump, serta daya serap air beton pada umur 7, 14, dan 28 hari, studi ini memberikan data empiris yang komprehensif mengenai kinerja beton alternatif tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja beton dengan kombinasi substitusi limbah granit dan abu bonggol jagung serta penambahan Sikacim terhadap kuat tekan beton, nilai slump, dan daya serap air. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi material beton berkelanjutan yang dapat diterapkan dalam skala konstruksi riil dengan tetap mempertahankan kualitas dan efisiensi biaya.

## **2. Metode**

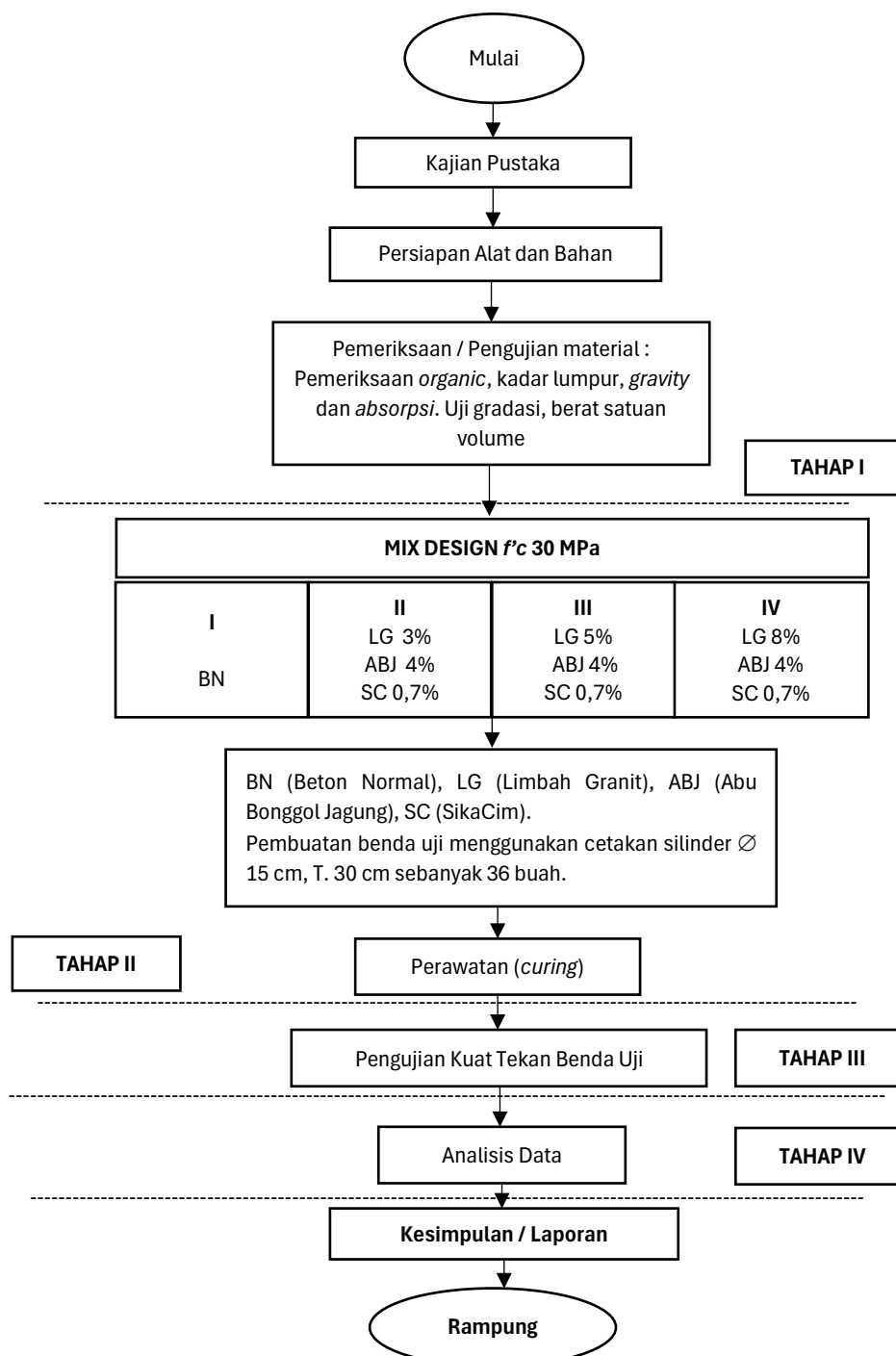
Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk mengetahui pengaruh substitusi limbah granit terhadap agregat kasar dan abu bonggol jagung terhadap semen, serta penambahan admixture Sikacim terhadap kuat tekan, nilai slump, dan daya serap air beton. Beton dirancang dengan mutu rencana  $f'c = 30$  MPa menggunakan pendekatan mix design berdasarkan pedoman SNI 7656:2012 tentang tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat, dan beton massa [26].

Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi semen Portland tipe I, agregat kasar (batu pecah), agregat halus (pasir), air bersih, limbah granit, abu bonggol jagung, dan Sikacim sebagai bahan aditif. Komposisi bahan disesuaikan berdasarkan berat per meter kubik beton, dengan koreksi terhadap kadar air dan penyerapan agregat. Pemeriksaan terhadap agregat dilakukan terlebih dahulu untuk menentukan gradasi, kadar air, berat jenis, dan penyerapan air. Uji gradasi dilakukan sesuai dengan SNI 03-1968-1990 untuk agregat halus dan kasar [27], sedangkan uji berat jenis dan penyerapan air masing-masing merujuk pada SNI 1970:2016 untuk agregat halus [28] dan SNI 1969:2016 untuk agregat kasar [29].

Empat variasi campuran beton dibuat, yakni beton normal sebagai kontrol (BN), serta tiga variasi dengan substitusi limbah granit sebesar 3%, 5%, dan 8% terhadap agregat kasar, ditambah abu bonggol jagung 4% terhadap berat semen dan penambahan Sikacim sebesar 0,7% terhadap berat semen. Benda uji dicetak dalam bentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm sesuai dengan SNI 2493:2011 tentang metode pengambilan, pembuatan, dan perawatan benda uji beton [30]. Setelah pencetakan, benda uji dirawat dengan metode perendaman dalam air bersih hingga mencapai umur uji pada hari ke-7, 14, dan 28.

Uji kuat tekan beton dilakukan dengan mesin uji tekan hidrolis, sesuai standar SNI 1974:2011 tentang cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder [31]. Selain itu, untuk mengetahui kemudahan pengerjaan beton segar, dilakukan uji slump menggunakan metode corong abrams sebagaimana tercantum dalam SNI 03-4156-2008 [32]. Uji daya serap air dilakukan untuk menilai kedekatan beton terhadap penetrasi air, berdasarkan prinsip uji penyerapan air pada beton keras, yang meskipun belum memiliki pembaruan SNI khusus, tetap merujuk pada praktik umum laboratorium sesuai arahan dari SNI 03-2914-1992 mengenai spesifikasi beton bertulang kedap air [33].

Alur kegiatan penelitian secara keseluruhan dapat digambarkan melalui diagram alir seperti ditunjukkan pada Gambar 1, yang memuat tahapan dari kajian pustaka, persiapan bahan, pembuatan benda uji, hingga pengujian dan analisis data.



Gambar 1. Diagram alir proses penelitian

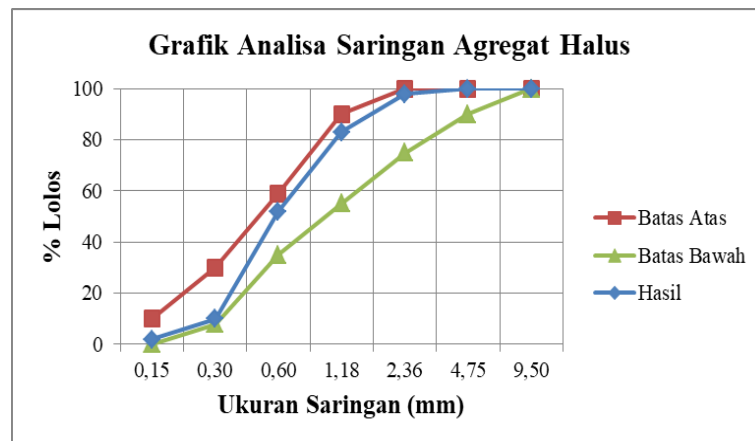
### 3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini diawali dengan pengujian karakteristik material penyusun beton, yang bertujuan untuk mengetahui kelayakan agregat yang digunakan. Hasil pengujian analisis saringan agregat halus menunjukkan bahwa modulus kehalusan sebesar 2,57 berada dalam rentang standar yang diizinkan yaitu antara 1,5 hingga 3,8 sesuai SNI 03-1968-1990 [27]. Nilai tersebut menunjukkan bahwa agregat halus memiliki distribusi butiran yang baik dan layak digunakan dalam campuran beton (Gambar 2).

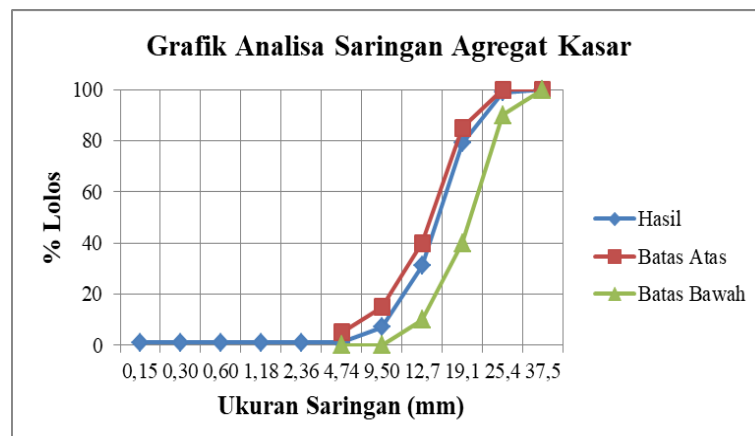
Selanjutnya, analisis saringan agregat kasar menghasilkan distribusi butiran yang berada dalam batas gradasi untuk ukuran maksimum 25 mm, yang menunjukkan bahwa agregat kasar telah memenuhi kriteria gradasi standar sebagai bahan campuran beton (Gambar 3). Hasil ini penting karena gradasi yang baik akan berkontribusi terhadap workability dan kekompakan beton.

Pengujian kadar air pada agregat halus dan kasar memberikan informasi mengenai kondisi kelembapan aktual material sebelum pencampuran. Pada agregat halus, kadar air yang terukur adalah 6,9% (Tabel 2), sedangkan pada agregat kasar sebesar 1,3% (Tabel 3). Nilai kadar air ini harus diperhitungkan dalam koreksi air pencampur agar diperoleh rasio air terhadap semen (w/c) yang tepat dan stabil.

Uji berat jenis dan penyerapan air agregat dilakukan sebagai dasar perhitungan volume dan koreksi terhadap berat basah dalam campuran. Hasil pengujian pada agregat halus menunjukkan berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) sebesar 2,58 dan penyerapan air sebesar 1,38% (Tabel 4), sedangkan agregat kasar memiliki nilai SSD sebesar 2,642 dan penyerapan air sebesar 1,86% (Tabel 5). Nilai-nilai ini berada dalam rentang yang sesuai dengan standar material beton dan digunakan dalam perhitungan desain campuran.



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

Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar			
Pengujian	Notasi	Berat	Satuan
Berat Jenis Semu (Sa)	$\frac{A}{A - C}$	2,564	gr
Penyerapan Air (Sw)	$\frac{(B - A)}{A} \times 100\%$	1,860	gr

Perencanaan campuran beton dilakukan berdasarkan metode dari SNI 7656:2012 [26] dengan mutu rencana  $f'c = 30$  MPa. Hasil perhitungan mix design beton normal ditunjukkan pada Tabel 6. Dari tabel tersebut, diketahui bahwa kebutuhan air sebesar  $148,2 \text{ kg/m}^3$ , semen  $525,64 \text{ kg/m}^3$ , agregat kasar  $1005,99 \text{ kg/m}^3$ , dan agregat halus  $692,66 \text{ kg/m}^3$ , dengan total berat beton sebesar  $2372,5 \text{ kg/m}^3$ . Seluruh nilai ini telah disesuaikan berdasarkan berat kering dan koreksi penyerapan air.

Komposisi bahan untuk beton normal dan variasi ditampilkan dalam Tabel 7 dan Tabel 8. Tiga variasi campuran terdiri atas substitusi limbah granit sebesar 3%, 5%, dan 8% terhadap agregat kasar, substitusi abu bonggol jagung sebesar 4% terhadap semen, serta penambahan Sikacim sebesar 0,7% dari berat semen. Tujuan dari variasi ini adalah untuk mengamati efek masing-masing kombinasi terhadap kuat tekan, nilai slump, dan daya serap air beton.

Pengujian slump dilakukan untuk mengukur tingkat kemudahan pengerjaan beton segar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton normal memiliki nilai slump sebesar 10,5 cm, sedangkan variasi LG 3%, LG 5%, dan LG 8% dengan ABJ 4% dan SC 0,7% masing-masing menghasilkan slump sebesar 10 cm, 11 cm, dan 11 cm (Gambar 4). Seluruh nilai slump berada dalam rentang yang diperbolehkan menurut SNI 03-4156-2008 [32]. Peningkatan nilai slump pada campuran dengan limbah granit dan Sikacim mengindikasikan peningkatan workability meskipun dengan penggunaan limbah padat. Hal ini didukung oleh fungsi Sikacim sebagai superplasticizer yang dapat meningkatkan kemudahan pengerjaan beton tanpa menambah air [33].

Hasil uji kuat tekan pada umur 28 hari menunjukkan bahwa beton normal memiliki kekuatan tekan sebesar 49,80 MPa, yang jauh di atas mutu rencana. Pada variasi LG 3% + ABJ 4% + SC 0,7%, kuat tekan menurun menjadi 44,19 MPa, diikuti oleh variasi LG 5% sebesar 44,46 MPa, dan variasi LG 8% sebesar 44,17 MPa (Gambar 5). Terlihat bahwa semua variasi mengalami penurunan kekuatan dibanding beton normal, namun tetap berada di atas nilai rencana  $f'c = 30$  MPa, sehingga masih memenuhi syarat kekuatan. Peningkatan kuat tekan pada variasi 5% dibandingkan 3% menunjukkan adanya titik optimal sebelum menurun lagi pada substitusi 8%. Hal ini sejalan dengan hasil studi terdahulu bahwa penggunaan limbah dalam batas tertentu dapat menghasilkan reaksi pozzolanik positif, namun pada persentase yang lebih tinggi justru meningkatkan porositas [34].

Daya serap air juga menjadi parameter penting dalam menilai kedapatan beton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton normal memiliki daya serap sebesar 1,67%, sedangkan variasi LG 3%, LG 5%, dan LG 8% masing-masing memiliki daya serap sebesar 1,77%, 1,90%, dan 1,92% (Gambar 6). Terjadi peningkatan daya serap seiring meningkatnya persentase limbah granit, yang mengindikasikan meningkatnya porositas mikro pada beton. Namun seluruh nilai ini masih jauh di bawah batas maksimum penyerapan air beton normal menurut SNI 03-2914-1992, yaitu 6% [33].

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

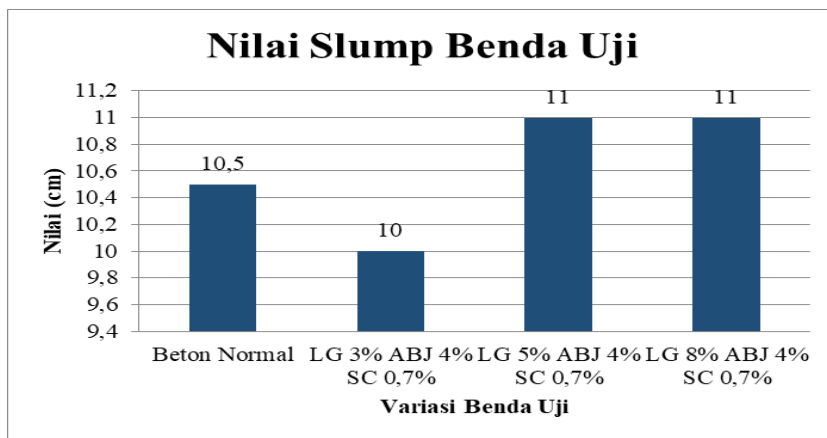
Perencanaan <i>Mix Design</i> Beton Normal Mutu 30 MPa		
Parameter	Nilai	Satuan
$f'c$	30	MPa
Slump	60 - 180	mm
Agregat Max	25	mm
Air	148,20	$\text{kg/m}^3$

Perencanaan <i>Mix Design</i> Beton Normal Mutu 30 MPa		
Parameter	Nilai	Satuan
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	%

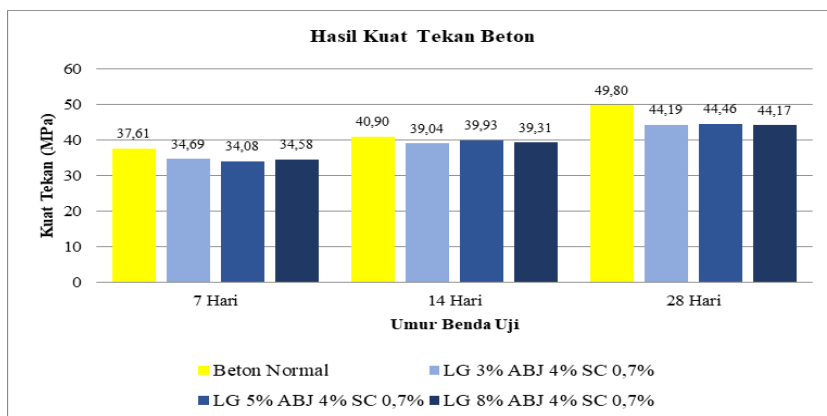
Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi substitusi limbah granit dan abu bonggol jagung masih dapat menghasilkan beton dengan performa yang baik, selama proporsinya dikendalikan. Penambahan Sikacim terbukti membantu dalam menjaga workability dan kekedapan beton, sehingga layak direkomendasikan sebagai tambahan bahan pada inovasi beton berkelanjutan.

Tabel 7. Kebutuhan Komposisi Beton Normal

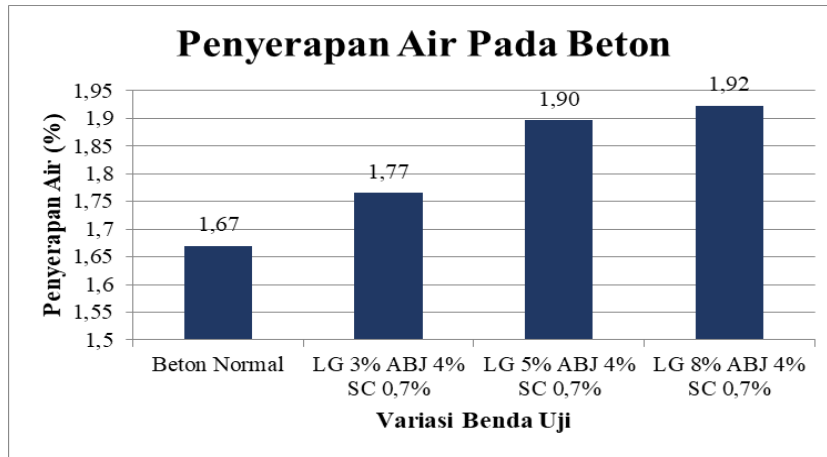
Bahan Beton	Berat Beton /M <sup>3</sup> (Kg)	Volume Benda Uji ( M <sup>3</sup> )	Berat Untuk 1 Sampel (Kg)	Berat Untuk 9 Sampel (Kg)
Air	148,20	0,0053	0,79	7,07
Semen	525,64		2,79	25,07
Agregat Kasar	1005,99		5,33	47,97
Agregat Halus	692,66		3,67	33,03
Jumlah	2372,50		12,57	113,14



Gambar 4. Diagram Hasil Slump



Gambar 5. Diagram Hasil Kuat Tekan Beton



Gambar 6. Diagram Daya Serap Air

Tabel 8. Kebutuhan Komposisi Beton Variasi

Proporsi Campuran	LG 3 %	LG 5%	LG 8 %	Jumlah (Kg)
	ABJ 4 % SC 0,7 %	ABJ 4% SC 0,7 %	ABJ 4 % SC 0,7 %	
Air (kg)	7,07	7,07	7,07	21,20
Semen (kg)	24,06	24,06	24,06	72,19
Aggregat Kasar (kg)	46,54	45,58	44,14	136,25
Aggregat Halus (kg)	33,03	33,03	33,03	99,10
Limbah Granit (kg)	1,47	2,44	3,84	7,74
Abu Bonggol Jagung (kg)	1,00	1,00	1,00	3,01
Sikacim	0,18	0,18	0,18	0,53
Jumlah	113,34	113,36	113,32	340,02

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan limbah granit sebagai substitusi agregat kasar, abu bonggol jagung sebagai substitusi semen, serta penambahan Sikacim concrete additive sebesar 0,7% terhadap berat semen masih mampu menghasilkan beton dengan mutu yang memenuhi syarat rencana sebesar  $f'c$  30 MPa. Pengujian terhadap nilai slump menunjukkan bahwa seluruh variasi campuran memiliki workability yang baik dan masih berada dalam rentang standar, dengan kecenderungan meningkatnya nilai slump seiring dengan penambahan limbah granit dan Sikacim. Pada aspek kekuatan tekan, beton normal menghasilkan kekuatan tertinggi yaitu 49,80 MPa, sedangkan variasi tertinggi pada campuran limbah terjadi pada substitusi LG 5% + ABJ 4% + SC 0,7% dengan kuat tekan sebesar 44,46 MPa. Meskipun terjadi penurunan dibanding beton normal, seluruh variasi masih berada di atas nilai mutu rencana, yang menunjukkan bahwa substitusi bahan limbah masih memungkinkan untuk digunakan dalam beton struktural. Adapun dari sisi daya serap air, hasil menunjukkan peningkatan nilai penyerapan pada campuran yang mengandung limbah, namun tetap berada dalam batas standar maksimum, yang menandakan bahwa beton masih memiliki kedap air yang cukup baik. Dengan demikian, penelitian ini membuktikan bahwa pemanfaatan limbah granit dan abu bonggol jagung dalam proporsi yang tepat, serta dukungan penggunaan Sikacim sebagai admixture, dapat menjadi solusi material alternatif dalam pembuatan beton ramah lingkungan tanpa mengorbankan mutu teknis.

#### Daftar Pustaka

- [1] Neville, A. M., *Properties of Concrete*, 5th ed., Pearson, 2011.

- [2] Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M., *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*, McGraw-Hill, 2014.
- [3] Siddique, R., "Utilization of industrial by-products in concrete," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 54, pp. 1060–1067, 2010.
- [4] Gursel, A. P., et al., "Life-cycle inventory analysis of concrete production," *Journal of Cleaner Production*, vol. 81, pp. 23–39, 2014.
- [5] Duxson, P., et al., "Geopolymer technology: the current state of the art," *Journal of Materials Science*, vol. 42, pp. 2917–2933, 2007.
- [6] Nambiar, E. K. K., Ramamurthy, K., "Models relating mixture composition to the density and strength of foam concrete using response surface methodology," *Cement and Concrete Composites*, vol. 28, no. 9, pp. 752–760, 2006.
- [7] Golewski, G. L., "Green concrete composite integrating waste materials: eco-friendly, cost-effective, and durable," *Materials*, vol. 14, no. 22, 2021.
- [8] Aliabdo, A. A., et al., "Recycling granite waste in concrete: strength and durability properties," *Construction and Building Materials*, vol. 121, pp. 71–82, 2016.
- [9] Bensalah, M. O., et al., "Granite waste as replacement of conventional coarse aggregates in concrete," *Journal of Building Engineering*, vol. 42, 2021.
- [10] Rafat Siddique, "Effect of wood ash on the properties of concrete," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 67, pp. 27–33, 2012.
- [11] Sutar, H., et al., "Utilization of agricultural waste ash in concrete," *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 3, no. 10, pp. 7431–7440, 2011.
- [12] Sata, V., et al., "Properties of concrete with ground corn cob ash as pozzolanic material," *Construction and Building Materials*, vol. 105, pp. 1–9, 2016.
- [13] Reddy, D. V. et al., "Durability of concrete with agro-waste ash," *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2020, Article ID 2356960, 2020.
- [14] Bahurudeen, A., Santhanam, M., "Performance evaluation of sugarcane bagasse ash-based cementitious system," *Cement and Concrete Composites*, vol. 59, pp. 77–88, 2015.
- [15] ASTM C494, "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete," ASTM International, 2019.
- [16] Sika Indonesia, *Product Data Sheet Sikacim Concrete Additive*, 2021.
- [17] Wahyuni, N. L., Rasidi, N., "Analisis pengaruh penambahan Sikacim concrete additive dan kapur pada beton normal," *JOS-MRK*, vol. 3, no. 2, pp. 125–130, 2022.
- [18] Arriq Aziz Ibrahim, "Pemanfaatan Limbah Granit...", Tugas Akhir, Universitas Mercu Buana, 2024.
- [19] Hadi, S., "Pengaruh penambahan limbah granit terhadap kuat tekan beton," *Ganec Swara*, vol. 14, no. 1, 2020.
- [20] Itu, M. P. H., et al., "Studi pemanfaatan abu bonggol jagung sebagai bahan substitusi semen untuk beton normal," unpublished.
- [21] Torkaman, J., et al., "Environmental benefits of using granite waste in concrete," *Journal of Environmental Management*, vol. 250, 2019.

- [22] Tam, V. W. Y., et al., "Economic and environmental evaluation of concrete waste recycling," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 52, no. 11, pp. 1245–1251, 2008.
- [23] Safiuddin, M., et al., "Use of recycled materials in concrete: critical review," *Journal of Cleaner Production*, vol. 272, 2020.
- [24] Medina, C., et al., "Reuse of sanitary ceramic wastes in eco-efficient concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 131, pp. 1–10, 2017.
- [25] Muthusamy, K., et al., "Utilization of agro-industrial waste in concrete: a review," *Materials Today: Proceedings*, vol. 29, pp. 123–128, 2020.
- [26] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 7656:2012 – Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa*, BSN, 2012.
- [27] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-1968-1990 – Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*, BSN, 1990.
- [28] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1970:2016 – Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*, BSN, 2016.
- [29] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1969:2016 – Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*, BSN, 2016.
- [30] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 2493:2011 – Metode Pengambilan, Pembuatan, dan Perawatan Benda Uji Beton di Lapangan atau Laboratorium*, BSN, 2011.
- [31] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1974:2011 – Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*, BSN, 2011.
- [32] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-4156-2008 – Cara Uji Slump Beton*, BSN, 2008.
- [33] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-2914-1992 – Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air*, BSN, 1992.