

Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi dan Limbah Granit Terhadap Kuat Tekan Beton

Debby Sinta Devi*¹, Revianty Nurmeiyandari², Adelia Putri Pramadona³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Indo Global Mandiri, Jl. Jend. Sudirman No. 62, Palembang

e-mail: *debbysintadevi@uigm.ac.id, revianty@uigm.ac.id, adelpp1426@gmail.com

Abstract

Advances in the field of construction are very rapid making concrete the choice of building structure material. The innovation of making concrete using sustainable materials is an effort to overcome the problems of limited resources that exist today. Concrete generally consists of a binder in the form of cement. Rice husk ash is a pozzolanic material that is high in silica content so that it can serve as a binder in concrete mixtures. In addition, the use of granite waste derived from hard rock as coarse aggregate in concrete mixtures can reduce environmental problems. The main aim of this experiment was to investigate the effect of using rice husk ash and granite waste on concrete characteristics. Rice husk ash used 5%, 10%, 15% as cement substitution, while granite waste 5%, 7.5% and 10% as coarse aggregate substitution. The results of the fresh concrete properties testing showed that rice husk ash used at higher percentages can reduce workability and increase concrete density, as well as accelerate concrete bonding time. The optimum percentage of rice husk ash used is 10% and 7.5% granite waste with the highest compressive strength result from several other variations, namely 28.07 MPa.

Keywords: Concrete, sustainable materials, rice husk ash, granite waste

Abstrak

Kemajuan di bidang konstruksi yang sangat pesat membuat beton menjadi pilihan bahan struktur bangunan. Inovasi pembuatan beton menggunakan material berkelanjutan adalah sebagai upaya mengatasi permasalahan keterbatasan sumber daya yang ada saat ini. Beton pada umumnya terdiri dari bahan pengikat berupa semen. Abu sekam padi merupakan bahan pozzolan yang tinggi kandungan silika sehingga dapat berperan sebagai bahan pengikat pada campuran beton. Selain itu penggunaan limbah granit yang berasal dari batuan keras sebagai agregat kasar pada campuran beton dapat mengurangi permasalahan lingkungan. Tujuan utama dari eksperimental ini adalah untuk menganalisis pengaruh penggunaan abu sekam padi dan limbah granit terhadap karakteristik beton. Abu sekam padi yang digunakan 5%,10%,15% sebagai substitusi semen, sedangkan limbah granit 5%, 7,5% dan 10% sebagai substitusi agregat kasar. Hasil dari pengujian sifat beton segar bahwa abu sekam padi yang digunakan dengan persentase yang lebih tinggi dapat menurunkan workability dan meningkatkan kepadatan beton, serta mempercepat waktu pengikatan beton. Persentase optimum penggunaan abu sekam padi adalah 10% dan limbah granit 7,5% dengan hasil kuat tekan tertinggi dari beberapa variasi lainnya yaitu sebesar 28,07 MPa.

Kata kunci: Beton, material berkelanjutan, abu sekam padi, limbah granit

1. Pendahuluan

Seiring dengan pesatnya pertumbuhan penduduk di Indonesia, menyebabkan kebutuhan akan konstruksi infrastruktur juga meningkat. Infrastruktur tersebut seperti semua fasilitas struktur yang menunjang aktivitas masyarakat. Dengan ekspansi yang pesat dan populasi yang terus meningkat, terdapat kebutuhan mendesak untuk fokus pada pembangunan konstruksi berkelanjutan (Santoso, 2021). Beton merupakan material konstruksi yang terdiri dari bahan penyusun berupa semen, agregat, air dan bahan tambah lainnya.

Abu sekam padi merupakan sisa penggilingan padi dengan kandungan mengandung utama silika. Reaksi yang terjadi dari kandungan silika (SiO_2) dengan kalsium silikat hidrat yang merupakan reaksi dari semen dan air memiliki tingkat reaktivitas yang tinggi. Proses reaksi ini dapat meningkatkan kekuatan ikatan antar campuran beton sehingga lebih padat dan dapat meningkatkan kuat tekannya. Abu sekam padi sebagai substitusi semen memiliki potensi untuk meningkatkan kuat tekan beton serta mengurangi penggunaan semen (Bebhe, et.al. 2021).

Penelitian yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik kuat tekan beton yang menggunakan abu sekam padi telah dilakukan oleh Nursyamsi (2021). Penggunaan abu sekam padi sebagai substitusi semen sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% menghasilkan kuat tekan 44,83 MPa, 51,53 MPa, 56,20 MPa, 45,63 MPa, 32,30 MPa. Kuat tekan beton dengan penggunaan abu sekam padi sebesar 10% dapat meningkatkan kekuatan beton 25,36% dibandingkan dengan tanpa menggunakan abu sekam.

Selain itu, abu sekam padi dapat menyerap air hingga 50% dibandingkan campuran beton konvensional, sehingga berpotensi menghasilkan daya tahan yang lebih baik (Satwarnirat, et.al. 2023). Pembuatan beton yang menggunakan abu sekam padi dengan persentase 5%, 10%, 15% dan 20% menunjukkan nilai tertinggi kuat tekan pada persentase 10% yaitu 38,89 MPa (Madiaman, 2022). *Self compacting concrete* dengan campuran abu sekam padi yaitu pada umur beton 28 hari dengan substitusi optimum 10% menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi yaitu sebesar 55,37 MPa, jika dibandingkan dengan tanpa abu sekam padi kuat tekan hanya sebesar 40,57 MPa (Robbani, et.al. 2019).

Selain bahan pengikat, bahan pengisi atau agregat juga berperan penting untuk menentukan karakteristik beton yang dihasilkan. Campuran beton pada umumnya terdiri dari agregat yang merupakan berasal dari bahan alami maupun buatan. Volume agregat dalam campuran beton berkisar 70%, sehingga pemilihan kualitas agregat mempengaruhi karakteristik beton yang dihasilkan. Agregat halus dan kasar merupakan jenis agregat yang digunakan pada beton. Agregat halus atau agregat alami bersumber dari aliran air sungai dan mengalami degradasi. Agregat dengan butiran kasar biasa dikenal sebagai kerikil atau pecahan batu merupakan hasil disintegrasi alami dari batuan dengan ukuran butir lebih dari 4,75 mm dan 20 mm, 30 mm hingga 40 mm. Beberapa jenis agregat dengan butiran kasar antara lain granit, basalt, kuarsa, dan lain-lainnya telah terbukti mempengaruhi kuat tekan beton (Woode, et.al. 2015).

Keterbatasan sumber daya agregat batu pecah dapat berdampak pada biaya pembuatan beton, hal ini mendorong beberapa penelitian untuk menemukan material alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti sebagian atau substitusi (Biney, 2022). Salah satu material yang dapat digunakan sebagai pengganti batu pecah dari lokasi penambangan adalah limbah agregat granit. Peningkatan kekuatan tekan beton dapat dicapai dengan menggunakan agregat kasar yang memiliki kekuatan hancur yang tinggi. Batuan granit terbentuk dari batuan beku intrusif dengan berbagai macam senyawa penyusun seperti silika (SiO_2), Al_2O_3 , dan mineral lainnya (Bakruddin, et.al. 2020). Granit dapat digunakan sebagai agregat pada beton berkekuatan tinggi dengan hasil sebesar 60-110 MPa (Guo, et.al. 2021).

Penelitian Tangaramvong, et.al. 2021, menunjukkan bahwa optimum penggunaan limbah granit sebagai substitusi agregat kasar adalah 20% dengan hasil kuat tekan 54,9 MPa. Berdasarkan penelitian terdahulu yang telah dilakukan untuk mengetahui kuat tekan beton yang hanya menggunakan abu sekam padi dan beberapa penelitian yang hanya menggunakan limbah granit, oleh karena itu penelitian ini membahas mengenai efektivitas pengaruh penggunaan variasi campuran abu sekam padi sebagai substitusi semen dan limbah granit sebagai substitusi agregat kasar terhadap karakteristik kuat tekan beton.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode uji coba atau eksperimental. Tahapan awal adalah mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan, selanjutnya melakukan uji karakteristik material penyusun berupa uji agregat halus dan agregat kasar berupa batu pecah dan limbah granit, kemudian melakukan pembuatan benda uji, pengujian beton segar berupa *slump* dan *setting time*, kemudian dilanjutkan dengan pencetakan benda uji menggunakan cetakan silinder 10 cm x 20 cm, perawatan (*curing*) benda uji, serta pengujian beton yang telah mengeras yaitu uji berat jenis dan kuat tekan beton. Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah dan limbah pecahan keramik granit. Pengujian *slump*, *setting time* dan kuat tekan beton dalam penelitian ini untuk mengetahui *workability* beton dan waktu ikat beton. Penggunaan abu sekam padi sebanyak 5%, 10%, dan 15% sebagai substitusi semen dan substitusi agregat kasar berupa limbah keramik granit sebanyak 5%, 7,5%, 10%. Pengujian berat jenis dan kuat tekan setelah proses *curing* dan pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Berikut merupakan kandungan mineral abu sekam padi terdapat pada Tabel 1. Sedangkan kandungan mineral granit terdapat pada Tabel 2.

Tabel 1. Kandungan Mineral Abu Sekam Padi

Referensi	Kandungan Mineral (%)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
(Umasabor and Okovido, 2018)	87,22	0,7	1,68	2,12	1,18	0,04	0,2	0,46
(Martinez, et.al. 2019)	86,98	0,84	0,73	1,40	0,57	0,24	-	-
(Pitoyo, et.al. 2020)	86,91	0,5	0,87	1,04	0,85	-	0,69	3,16
(Olukotun, et.al. 2020)	89,90	-	0,55	-	0,03	1,4	0,99	0,99
(Ardiantoro, et.al. 2021)	92,3	0,40	0,45	0,70	0,85	0,45	0,70	0,85

Tabel 2. Kandungan Mineral Limbah Granit

Referensi	Kandungan Mineral (%)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
(Yague, et. al. 2020)	78,89	13,03	2,09	1,47	0,19	-	1,36	1,10
(Mardieman, 2022)	72,04	14,42	1,22	1,82	0,71	-	3,69	4,12

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Agregat

Pengujian karakteristik agregat halus adalah untuk mengetahui jenis dan kualitas agregat halus berupa pasir yang akan digunakan didalam campuran beton sesuai SNI. Berikut merupakan hasil pengujian karakteristik agregat halus berupa pasir terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Halus Pasir

Pengujian	Spesifikasi	Syarat	Hasil	Keterangan
Analisa Saringan (FM)	SNI 03-1968-1990	1,5 -3,88	2,35	Memenuhi
Berat jenis dan penyerapan	SNI 03-1970-1990	1,6 – 3,3 dan maks 4%	2,1 dan 3,3 %	Memenuhi
Kadar lumpur	SNI 03-4428-1997	Maks 5%	2,38%	Memenuhi
Kadar air	SNI 03-1971-1990	Maks 4%	1,16%	Memenuhi

Berdasarkan hasil pengujian kualitas material agregat halus yang akan digunakan telah memenuhi semua standar material penyusun beton. Pasir yang digunakan termasuk zona 3 katagori pasir dengan butir yang cukup halus. Oleh karena itu pasir sungai memenuhi untuk digunakan sebagai agregat halus dalam campuran beton.

Pengujian agregat kasar dilakukan untuk mengetahui kualitas agregat kasar berupa split/batu pecah dan limbah granit yang akan digunakan. Berikut merupakan hasil beberapa parameter uji kelayakan agregat kasar sesuai standar terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian	Spesifikasi	Syarat	Batu pecah	Limbah granit	Keterangan
Analisa Saringan (FM)	SNI 03-1968-1990	5,50-8,50	6,17	6,05	Memenuhi
Berat jenis dan penyerapan	SNI 03-1970-1990	2,58 – 2,83 ; maks 3%	2,41 dan 0,72%	2,67 dan 1,22%	Memenuhi
Kadar lumpur	SNI 03-4428-1997	Maks 1%	0,36%	-	Memenuhi
Kadar air	SNI 03-1971-1990	Maks 4%	1,14%	1,12%	Memenuhi

Berdasarkan hasil pengujian agregat kasar berupa batu pecah dan limbah granit, granit memiliki berat jenis yang lebih berat dibandingkan batu pecah. Batu pecah dan limbah granit yang akan digunakan telah memenuhi semua standar penggunaan material beton. Oleh karena itu agregat kasar berupa batu pecah dan limbah granit dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton.

3.2 Pengujian Slump

Pengujian *slump* dilakukan untuk semua jenis campuran agar mengetahui tingkat kepadatan beton atau workability yaitu kemudahan pengadukan beton, pengujian ini dilakukan berdasarkan standar SNI 03–1972–1990.

Tabel 5. Hasil Pengujian Slump

Jenis campuran beton	Nilai <i>slump</i> (cm)
A ₀ -G ₀	12,7
A ₅ -G ₅	12,5
A ₅ -G _{7,5}	12,3

Jenis campuran beton	Nilai <i>slump</i> (cm)
A ₅ -G ₁₀	12,1
A ₁₀ -G ₅	12
A ₁₀ -G _{7,5}	12
A ₁₀ -G ₁₀	12
A ₁₅ -G ₅	11,9
A ₁₅ -G _{7,5}	11,5
A ₁₅ -G ₁₀	11,5

Berdasarkan hasil pengujian tingkat kekentalan beton, beton normal menghasilkan nilai *slump* sebesar 12,7 cm. Sedangkan jika dibandingkan dengan beton normal, penggunaan abu sekam padi dan limbah granit sebagai substitusi agregat kasar menyebabkan beton memiliki kekentalan yang lebih tinggi. Penurunan *slump* beton berbahan granit disebabkan oleh bentuk partikel limbah granit yang bersudut sehingga terjadi gesekan internal yang lebih tinggi antara partikel individu dalam komposit dibandingkan dengan batu pecah yang lebih bergradasi.

Selain itu *workability* yang lebih rendah disebabkan karena abu sekam padi memiliki karakteristik mudah menyerap air. Nilai porositas menurun seiring dengan peningkatan kandungan abu sekam padi karena partikel yang kecil meningkatkan kepadatan pencampuran dengan semen dan mengurangi volume pori-pori yang lebih besar (Damanhuri, et.al. 2020), selain itu partikel halus abu sekam padi menyerap sejumlah besar air di permukaannya dan menyimpannya air pada pori-porinya, dan mengakibatkan berkurangnya air bebas serta menurunkan nilai *slump* dan membuat beton menjadi lebih padat (Siddika, et.al. 2021).

3.3 Pengujian *Setting Time*

Waktu pengikatan awal beton adalah waktu pasta semen mulai mengeras sedangkan waktu pengikat akhir adalah waktu pada semen telah cukup mengeras. Hasil pengujian waktu ikat dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian *setting time*

Jenis campuran	<i>Initial time</i> (menit)	<i>Final time</i> (menit)
A ₀	100	135
A ₅	95	120
A ₁₀	85	115
A ₁₅	80	110

Berdasarkan hasil pengujian *setting time*, campuran beton normal memiliki *initial time* 100 menit dan *final time* 135 menit. *Setting time* beton yang paling cepat adalah pada penggunaan abu sekam padi sebesar 10%. Abu sekam padi dan limbah granit sebagai substitusi semen dan agregat kasar menyebabkan campuran beton memiliki waktu ikat akhir beton yang lebih cepat. Perubahan final *setting time* yang lebih cepat dikarenakan abu sekam padi memiliki kandungan silika alumina dapat mempercepat waktu ikatan antar partikel.

3.4 Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis dilakukan untuk mengetahui berat isi beton sebelum dilakukan uji kuat tekan. Berikut hasil pengujian berat jenis beton terdapat pada Tabel 7.

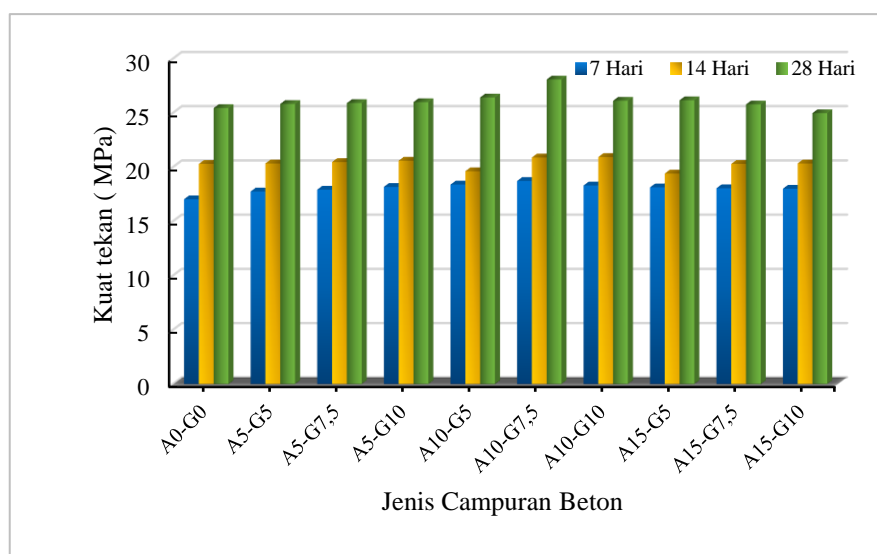
Tabel 7. Hasil Pengujian Berat Jenis

Jenis campuran	Berat Jenis (kg/m ³)		
	7 hari	14 hari	28 hari
A ₀ -G ₀	2267,52	2248,41	2292,99
A ₅ -G ₅	2292,99	2273,89	2292,99
A ₅ -G _{7,5}	2331,21	2331,21	2343,95
A ₅ -G ₁₀	2363,06	2356,69	2375,80
A ₁₀ -G ₅	2452,23	2471,34	2471,34
A ₁₀ -G _{7,5}	2484,08	2496,82	2496,82
A ₁₀ -G ₁₀	2420,38	2420,38	2439,49
A ₁₅ -G ₅	2356,69	2375,80	2388,54
A ₁₅ -G _{7,5}	2343,95	2343,95	2356,69
A ₁₅ -G ₁₀	2324,84	2331,21	2356,69

Berdasarkan hasil pengujian, berat jenis beton normal adalah sebesar 2292,99 kg/m³. Beton dengan variasi substitusi abu sekam padi dan variasi substitusi granit termasuk kedalam beton normal dikarenakan memiliki berat jenis beton normal yang sesuai standar SNI 03-2834-2000 yaitu 2200-2500 kg/m³. Limbah granit memiliki nilai berat jenis yang lebih besar dibandingkan batu pecah oleh karena itu limbah granit yang digunakan dalam campuran beton membuat beton menjadi sedikit lebih berat. Penggunaan abu sekam padi dengan maksimum substitusi 7,5% menghasilkan berat jenis beton tertinggi yaitu 2496,82 kg/m³.

3.5 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan adalah untuk menguji nilai kekuatan tekan beton normal dan beton variasi substitusi abu sekam padi dan limbah granit. Benda uji umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari setelah melalui proses perawatan dilakukan uji kuat tekan. Pengujian dilakukan untuk semua beton normal dan beton variasi abu sekam padi dan limbah granit untuk mencapai target kuat tekan rencana yang telah ditentukan. Hasil kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 8.

**Gambar 1. Hasil uji kuat tekan beton**

Tabel 8. Hasil pengujian kuat tekan beton

Jenis campuran	Kuat Tekan (MPa)		
	7 hari	14 hari	28 hari
A ₀ -G ₀	17,03	20,30	25,44
A ₅ -G ₅	17,75	20,34	25,82
A ₅ -G _{7,5}	17,92	20,47	25,90
A ₅ -G ₁₀	18,17	20,59	25,99
A ₁₀ -G ₅	18,39	19,62	26,41
A ₁₀ -G _{7,5}	18,73	20,89	28,07
A ₁₀ -G ₁₀	18,30	20,93	26,11
A ₁₅ -G ₅	18,13	19,41	26,16
A ₁₅ -G _{7,5}	18,05	20,30	25,77
A ₁₅ -G ₁₀	18,00	20,34	24,97

Beton dengan umur 7 hari, 14 dan 28 hari terus mengalami kenaikan kuat tekan dikarenakan pada tahap awal perawatan terjadi reaksi hidrasi dan pengisian partikel abu sekam padi. Partikel RHA yang halus dapat mengisi pori-pori dan retakan mikro pada pasta, mengurangi porositas sehingga meningkatkan secara signifikan kekuatan awal beton hingga 90 hari sebesar 7,25% dan 360 hari terjadi peningkatan sebesar 3,94% (Zhang, et. al. 2022).

Berdasarkan uji kuat tekan beton tanpa campuran substitusi A₀-G₀ memiliki kuat tekan 25,44 MPa. Beton yang menggunakan abu sekam padi dapat mempengaruhi hasil kuat tekan beton. Penggunaan abu sekam padi yang menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi adalah sebesar 10% dengan hasil kuat tekan 28,07 MPa. Peningkatan kekuatan tekan beton dikarenakan abu sekam padi cenderung menyerap air pada campuran beton segar dan menurunkan workabilitas beton serta pori pada beton mengecil karna bahan pozzolan abu sekam padi mengisi seluruh ruang kosong, dan menurunkan permeabilitas beton (Hasan, et.al. 2022). Beton dengan kepadatan yang lebih baik dapat meningkatkan berat jenis dan kuat tekan beton. Hal ini dikarenakan silika yang tinggi dan luas permukaan spesifik partikel abu sekam padi yang tinggi, dapat bereaksi lebih banyak antara CH dan air, sehingga menghasilkan gel ekstra C-S-H untuk memperbaiki kepadatan beton. Sedangkan penggunaan abu sekam padi dengan persentase 15% menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah dikarenakan jumlah silika yang tersedia dalam semen campuran terhidrasi terlalu tinggi, dan jumlah C-H yang dihasilkan menjadi tidak cukup untuk bereaksi dengan semua silika yang tersedia. sehingga, sejumlah silika tertinggal tanpa terjadinya reaksi kimia. Penggantian semen dengan abu sekam padi yang lebih tinggi dapat menyebabkan kebutuhan air meningkat, sehingga mengurangi kepadatan beton.

Rasio penggunaan sebesar 10% menghasilkan kepadatan pasta tertinggi karena gabungan dari efek pengisian dan efek pozzolan, sehingga menghasilkan karakteristik mekanik beton yang optimal. Sedangkan penggunaan limbah granit efektif dapat menambah kekuatan tekan beton, dikarenakan limbah granit memiliki tingkat kepadatan dan kekerasan yang lebih tinggi dari agregat kasar pada umumnya yaitu batu pecah atau kerikil. Apabila penggunaan granit sebaagi substitusi kasar lebih dari 7,5% akan mengalami penurunan kuat tekan beton. Hal ini karena terdapat celah/pori disebabkan oleh testur limbah granit dominan berbentuk pipih dan kurang bergradasi sehingga mengurangi kepada beton apabila digunakan dalam jumlah yang lebih banyak.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah dianalisis, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa penggunaan abu sekam padi dan limbah granit sebagai substitusi semen dan substitusi agregat kasar dapat mempengaruhi *slump*, *setting time*, berat jenis dan kuat tekan beton. Nilai *slump* beton yang

menggunakan abu sekam padi dan limbah granit menjadi lebih rendah sedangkan waktu ikat beton menjadi lebih cepat, hal ini dikarenakan sifat abu sekam padi yang dapat menyerap air dan meningkatkan kekentalan beton serta mempercepat waktu ikat beton. Berat jenis beton yang menggunakan abu sekam padi dan limbah granit termasuk dalam kategori beton normal dan memiliki berat jenis yang lebih tinggi dibandingkan beton konvensional. Abu sekam padi dan limbah granit dapat meningkatkan kekuatan tekan beton dengan optimum penggunaan abu sekam padi sebagai substitusi semen adalah sebesar 10% dan limbah granit sebesar 7,5%.

Daftar Pustaka

- Ardiantoro, D., E. S. Sunarsih, and T. L. A. Sucipto. 2021. "The Role of Rice Husk Ash in Enhancing the Fresh Properties, Density, and Compressive Strength of Fly Ash Based Self Compacting Geopolymer Concrete." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 1808(1). doi: 10.1088/1742-6596/1808/1/012014.
- Bakruddin, B., Sihombing, A. R. and Jalil, Z. "The study of the Mineral Composition in the Granite Rocks in the Village of Lhok Pawoh, South Aceh District," J. Inotera, vol. 5, no. 2, pp. 80–84, 2020, doi: 10.31572/inotera.vol5.iss2.2020.id108.
- Bebhe, K and Daton, R. "The effect of adding rice husk ash and coconut fiber on the compressive strength of white bricks," ARTEKS J. Tek. Arsit., vol. 6, no. 1, pp. 119–128, 2021, doi: 10.30822/arteks.v6i1.641.
- Biney, E, Akortia, V. K. Kankam, C. K. Junior, J. K. Q and Adzakey, P "Assessing Structural Performance of Ceramic Waste as Partial Replacement of Coarse Aggregate on Properties of Concrete," *J. Eng. Res. Reports*, vol. 23, no. 12, pp. 134–147, 2022, doi: 10.9734/jerr/2022/v23i12771.
- Damanhuri, A. A. M., A. M. H. S. Lubis, A. Hariri, S. G. Herawan, M. H. I. Roslan, and M. S. F. Hussin. 2020. "Mechanical Properties Of Rice Husk Ash (Rha) Brick As Partial Replacement of Clay." *Journal of Physics: Conference Series* 1529(4). doi: 10.1088/1742-6596/1529/4/042034..
- Guo, Y.B., Gao, G. F., Jing, L and Shim, V. P. W. "Dynamic properties of granite rock employed as coarse aggregate in high-strength concrete," *Int. J. Impact Eng.*, vol. 156, no. July, 2021, doi: 10.1016/j.ijimpeng.2021.103955.
- Hasan, Noor Md Sadiqul, Md Habibur Rahman Sobuz, Md Munir Hayet Khan, Nusrat Jahan Mim, Md Montaseer Meraz, Shuvo Dip Datta, Md Jewel Rana, Ayan Saha, Abu Sayed Mohammad Akid, Md Tanjid Mehedi, Moustafa Houda, and Norsuzailina Mohamed Sutan. 2022. "Integration of Rice Husk Ash as Supplementary Cementitious Material in the Production of Sustainable High-Strength Concrete." *Materials* 15(22). doi: 10.3390/ma15228171.
- Mardiaman, M and Dewita, H. "Effect of Adding Fly Ash and Rice Husk Ash on Compressive Strength to Meet the $f_c'35$ MPa Concrete Quality," *Civilla J. Tek. Sipil Univ. Islam Lamongan*, vol. 7, no. 1, p. 35, 2022, doi: 10.30736/cv1.v7i1.778.
- Nursyamsi, N., & Febrizal Aruan, A. (2021). Application of rice husk ash in high strength concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1122(1), 012013. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1122/1/012013>.

- Olukotun, A. 2021. "Use of Construction Waste with Nano-Silica Extracted from Rice Husk in Concrete Production." (January 2020). doi: 10.13140/RG.2.2.33336.06408.
- Pitoyo, Subandi, Vebrian, and Rafidah, A. 2021. "Compressive Strength of Rice Husk Ash and Paper Waste As a Substitute for Cement." *Suranaree Journal of Science and Technology* 28(6):1–5.
- Robbani, B. G. A. Wibowo, W, and Safitri, E. "Pengaruh Kadar Rice Husk Ash Terhadap Kuat Tekan Pada High Strength Self Compacting Concrete (HSSCC)" *Matriks Tek. Sipil*, vol. 7, no. 1, pp. 21–30, 2019, doi: 10.20961/mateksi.v7i1.36524.
- Santoso, T.H. "Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi (Rice Husk Ash) Pada Beton Normal Terhadap Nilai Kuat Tekan," *J. Tek. Sipil dan Teknol. Konstr.*, vol. 8, no. 1, pp. 13–21, 2022, doi: 10.35308/jts-utu.v8i1.4290.
- Satwarnirat, D. Archenita, Z. Eldiswari, Silvianengsih, and R. Yuliet, "The influence of cement substitution with rice husk ash on high-strength concrete," *E3S Web Conf.*, vol. 464, p. 09008, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202346409008.
- Tangaramvong, S, Nuaklong, P, Khine, M. T and Jongvivatsakul, P. "The influences of granite industry waste on concrete properties with different strength grades," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 15, no. August, p. e00669, 2021, doi: 10.1016/j.cscm.2021.e00669.
- SNI 03-1968-1990. Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan. Agregat Halus Dan Kasar.
- SNI 03-1970-1990. Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan.
- SNI 03-1971-1990 Metode pengujian kadar air agregat.
- SNI 03–1972–1990. Metode pengujian slump beton.
- SNI 03-2834-2000. Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal SNI.
- SNI 03-4428-1997: Metode Pengujian Agregat Halus atau Pasir yang Mengandung Bahan Plastis dengan Cara Setara Pasir.
- Umasabor, R. I., and J. O. Okovido. 2018. "Fire Resistance Evaluation of Rice Husk Ash Concrete." *Heliyon* 4(12):e01035. doi: 10.1016/j.heliyon.2018.e01035.
- Urtecho, M, Francisco A., Luis J. Oyanguren Gallo, José U. Rodriguez Barboza, and Elsa Carrera Cabrera. 2019. "Sustainable Concrete with Rice Husk Ash (RHA) for Marine Structures." *MATEC Web of Conferences* 303(2019):05002. doi: 10.1051/mateconf/201930305002.
- Woode, D. K. Amoah, I. A. Aguba, and P. Ballow, "The Effect of Maximum Coarse Aggregate Size on the Compressive Strength of Concrete Produced in Ghana," *Civ. Environ. Res.*, vol. 7, no. 5, pp. 7–12, 2015, [Online]. Available: www.iiste.org
- Yague, Santiago, Cristina González Gaya, Victor Rosales Prieto, and Alberto Sánchez Lite. 2020. "Sustainable Ecocements: Chemical and Morphological Analysis of Granite Sawdust Waste as Pozzolan Material." *Materials* 13(21):1–15. doi: 10.3390/ma13214941.
- Zhang, Wei, Huawei Liu, and Chao Liu. 2022. "Impact of Rice Husk Ash on the Mechanical Characteristics and Freeze–Thaw Resistance of Recycled Aggregate Concrete." *Applied Sciences (Switzerland)* 12(23). doi: 10.3390/app122312238.