

Pengaruh substitusi campuran limbah abu sekam padi dan *bottom ash* terhadap kuat lentur dan rembesan air pada pembuatan genteng beton

M. Ade Zidni^a, Putri Dynanti^{a*}, Asri Nurdiana^a, Bambang Setiabudi^a

^a Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

Corresponding Author*:

Email: putridynanti08@gmail.com

Keywords:

Bottom ash, concrete roof, fly ash

Received :

Revised :

Accepted :

Abstract: *Indonesia's environmental problems in agriculture and electric power generation have led to the use of rice husk ash and bottom ash for roof construction materials such as concrete roof tiles. Concrete roof tiles in Indonesia are still one of the roof coverings that require high costs and have a heavy mass; the addition of rice husk ash and bottom ash, which have pozzolanic content and have a small specific gravity, is expected the SNI requirements qualify. The research method is quantitative experimental, which observes the effect of variables based on SNI. The composition of the concrete roof tile mixture is one cement, three sand, 0,35 water, and the percentage of rice husk ash and bottom ash. Rice husk ash against sand: bottom ash against cement, A 0%: 0%, B 5%: 10%, C 2.5%: 10%, and D 5%: 7.5%. Quality tests of rice husk ash and bottom ash for manufacturing concrete roof tiles based on SNI 0096:2007 are bending load tests, water seepage tests, water absorption tests, quality of appearance, and size. The results of the average bending load test on A = 1446,19 N, B = 1622,58 N, C = 1559,67 N, and D = 1530,79 N. Results of water seepage test on A, B, C, and D is no water drops. Test result of water absorption on A = 8,376%, B = 6,265%, C = 5,200%, and D = 6,400%. In conclusion, rice husk ash and bottom ash can improve the value of bending load, reduce water seepage, reduce water absorption, and protect the environment by reducing waste.*

Copyright © 2024 POTENSI-UNDIP

1. PENDAHULUAN

Produksi padi Indonesia mengalami peningkatan dengan total produksi padi dari tahun 2020 hingga 2022 yaitu 163.813.475,46 ton (BPS, 2023). Peningkatan produksi padi juga meningkatkan sisa – sisa proses pertanian dari hasil produksi padi. Jika tidak dikelola dengan baik, limbah padi dapat menjadi sumber masalah karena dapat menjadi penyebab pencemaran lingkungan (Sari, 2023). Limbah abu sekam padi memiliki sifat pozzolan yaitu material silika reaktif yang dapat berkombinasi dengan kapur pada temperatur biasa yang membentuk majemuk dan tidak mudah larut yang akan menambah daya ikat partikelnya (Apriansyah, Hasim, Marwadi, & Chalid, 2022). Pozzolan adalah bahan yang bereaksi dengan kapur dan air untuk membentuk senyawa pengikat seperti semen, sering digunakan untuk meningkatkan kekuatan beton dan memanfaatkan limbah industri. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (ESDM) konsumsi batu bara untuk pembangkit listrik mengalami kenaikan 60% pada tahun 2022 dengan volume realisasi hingga juli 2022 adalah 72,9 ton (ESDM, 2022). *Bottom ash* adalah jenis bahan sisa yang dihasilkan selama pembakaran batubara atau bahan bakar padat lainnya di pembangkit listrik atau boiler industri yang terdiri dari campuran bahan anorganik seperti mineral, lempung, logam, serta sejumlah karbon yang tidak terbakar serta memiliki tingkat porositas yang lebih tinggi.

Permasalahan lingkungan tersebut memunculkan gagasan untuk memanfaatkan limbah abu sekam padi dan limbah hasil pembakaran batu bara berupa *bottom ash* untuk kebutuhan bahan konstruksi atap yaitu genteng beton yang ditinjau sisi positif dan kandungannya dalam memanfaatkan limbah abu sekam padi dan *bottom ash*. Sebagai salah satu komponen penting pada pembangunan rumah adalah genteng yang berfungsi untuk melindungi rumah dari hujan dan panas. Menurut SNI 0096:2007 genteng beton merupakan campuran antara semen portland dengan agregat dan air dengan atau tanpa menggunakan pigmen yang digunakan sebagai atap. Genteng beton harus memiliki sifat yang baik, seperti daya serap air minimum, rembesan air minimum, dan tidak menghantarkan panas agar tidak terjadi kebocoran dan dapat

berfungsi dengan baik (Mushabikkah, 2007).

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis manfaat limbah abu sekam padi dan *bottom ash* sebagai bahan campuran genteng beton, menganalisis pengaruh limbah abu sekam padi dan *bottom ash* sebagai campuran genteng keramik berdasarkan hasil pengujian sifat tampak, ukuran, kerataan, beban lentur, rembesan air (*impermeabilitas*), penyerapan air (*porositas*), pada setiap variasi. Serta membandingkan dari segi biaya antara genteng beton normal dengan genteng beton yang ditambahkan limbah abu sekam padi dan *bottom ash*.

2. DATA DAN METODE

2.1. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen. Metode kuantitatif eksperimen dilakukan secara langsung dan objektif di laboratorium. Selain studi kuantitatif eksperimental, penelitian ini juga menggunakan metode pengumpulan data studi pustaka (*library research*), yaitu metode pengumpulan informasi melalui jurnal maupun literatur yang berkaitan dengan rumusan masalah.

2.2. Pengujian kelayakan material

Pengujian kelayakan material adalah pengujian yang dilakukan guna mengetahui apakah material yang digunakan sudah memenuhi persyaratan sesuai dengan standar. Pengujian material dilakukan terhadap agregat halus. Pengujian gradasi dilakukan untuk menentukan ukuran dengan mematuhi standar SNI 03-1972-1990 menurut SNI ini gradasi pasir untuk campuran beton berada pada modulus halus butir 1,5–3,8% dan memeriksa kandungan lumpur sesuai dengan SK-SNI-S-04-1989-F. Menurut standar tersebut, agregat halus tidak boleh melebihi 5%, apabila memiliki kadar lumpur diatas 5%, maka perlu mencuci agregat halus tersebut. Agregat halus dilakukan 2 pengujian, yaitu uji saringan dan kadar lumpur. Berikut adalah rekapitulasi hasil pengujian dari pengujian agregat halus diuraikan pada Tabel 1. Berdasarkan pengujian agregat halus yang telah dilakukan, pasir yang digunakan pada penelitian memenuhi syarat SNI acuan.

Tabel 1. Rekapitulasi hasil pengujian agregat halus

Jenis Pengujian	Hasil	SNI Acuan	Syarat	Keterangan
Uji Saringan	3,22%	SNI 03-1972-1990	1,5% - 3,8%	Memenuhi
Uji KadarLumpur	3,09%	SK-SNI-S 04-1989-F	Maksimum 5%	Memenuhi

Sebelum dipakai untuk bahan tambah pada pengujian, abu sekam padi dan *bottom ash* yang ditunjukkan oleh Gambar 1 dan Gambar 2 diolah terlebih dahulu. Abu sekam padi dikeringkan lalu dibersihkan dan kemudian dihaluskan, dan dilakukan penyaringan dengan saringan No.100, sedangkan untuk *bottom ash*, dihancurkan menggunakan palu, lalu dihaluskan menggunakan mortir & stamper hingga lolos saringan No.200.



Gambar 1. Abu sekam padi



Gambar 2. *Bottom ash*

2.3. Job mix design

Mix design yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 semen: 3 pasir: 0,35 air. Abu sekam padi disubstitusikan sebagai campuran pasir dan *bottom ash* disubstitusikan sebagai campuran semen pada pembuatan genteng beton. Untuk kebutuhan abu sekam padi dan *bottom ash* yang dipakai dalam membuat genteng beton dengan variasi A menggunakan 0% abu sekam padi: 0% *bottom ash*, variasi B menggunakan 5% abu sekam padi: 10% *bottom ash*, variasi C menggunakan 2,5% abu sekam padi: 10% *bottom ash*, dan variasi D menggunakan 5% abu sekam padi: 7,5% *bottom ash*. Penggunaan abu sekam padi di substitusikan terhadap berat pasir, sedangkan penggunaan *bottom ash* di substitusikan terhadap berat semen. Selain itu pengujian berat jenis semen, pasir, air, abu sekam padi, dan *bottom ash* juga dilakukan sebagai ketetapan yang digunakan pada *job mix design*. Adapun hasil perancangan *job mix design* disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. *Mix design proportion*

Material	A	B	C	D
Semen (g)	459,38	413,44	413,44	424,92
<i>Bottom Ash</i> (g)	0,000	81,95	81,95	61,46
Pasir (g)	1543,50	1466,33	1504,91	1466,33
Abu Sekam Padi (g)	0,000	116,87	58,43	116,87
Air (ml)	514,5	514,5	514,5	514,5
Sampel (buah)	9,000	9,000	9,000	9,000

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis mutu

Pengujian hasil mutu bertujuan untuk kualitas genteng beton yang layak digunakan dari segi fisik. Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 0096:2007. Berikut adalah hasil pengujian mutu berupa sifat tampak, ukuran, dan kerataan. Dari tabel 3 didapatkan hasil pengujian sifat tampak dilakukan dengan pengamatan visual terhadap benda uji terhadap retak, kehalusan dan warna. Dari pengujian didapatkan hasil yang sama untuk pengujian retak dan kehalusan benda uji terhadap semua variasi yang menurut SNI 0096:2007 genteng beton harus memiliki permukaan atas yang halus, tidak terdapat keretakan atau cacat yang lain yang berakibat kurang maksimalnya fungsi genteng beton. Namun dari segi warna terdapat perbedaan pada masing – masing benda uji, variasi A memiliki warna abu – abu kecokelatan, variasi B memiliki warna abu – abu pekat, variasi C memiliki warna putih keabu – abuan, dan variasi D memiliki warna abu - abu. Dapat disimpulkan bahwa abu sekam padi dan *bottom ash* mempengaruhi warna pada genteng beton, hal ini disebabkan karena pigmen yang pekat dan kuat pada bahan tersebut dan hal ini tidak mempengaruhi fungsi genteng beton, perbedaan warna pada terjadi karena variasi persentase campuran limbah abu sekam padi dan *bottom ash* yang berbeda – beda. Adapun hasil pengujian sifat tampak rata - rata disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian sifat tampak rata - rata

No.	Variasi	Retak	Kehalusan	Warna
1	A	Tidak ada	Halus	Abu – abu Kecokelatan
2	B	Tidak ada	Halus	Abu – abu Pekat
3	C	Tidak ada	Halus	Putih Keabu – abuan
4	D	Tidak ada	Halus	Abu - abu

Hasil pengujian ukuran terhadap mutu dapat dilihat pada Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa hasil yang didapatkan pada pengujian ukuran genteng beton variasi A, B, C, dan D telah memenuhi semua syarat SNI 0096:2007. Pada pengujian ukuran ini dapat dilihat bahwa tidak banyak perbedaan ukuran antara genteng beton konvensional dan genteng beton dengan campuran abu sekam padi dan *bottom ash*, hal ini disebabkan karena tiap variasi menggunakan ukuran cetakan yang sama dan perhitungan *job mix design*

setiap variasi yang dihitung sesuai ukuran volume ukuran tiap variasi adalah sama yaitu 1470 m³.

Tabel 4. Pengujian ukuran

No.	Bagian yang diuji	A	B	C	D
1	Tebal bagian rata (mm)	13,33	12,67	12,67	12,67
	Penumpangan (mm)	13,33	12,67	12,67	12,67
2	Panjang kaitan (mm)	33,67	33,33	33,67	33,00
	Lebar kaitan (mm)	13,67	14,33	13,67	13,67
	Tinggi kaitan (mm)	12,67	11,33	11,67	12,00
3	Penumpangan lebar (mm)	45,00	44,67	45,33	44,67
	Kedalaman alur (mm)	28,30	29,00	28,00	28,33
	Jumlah alur (mm)	2,00	2,00	2,00	2,00

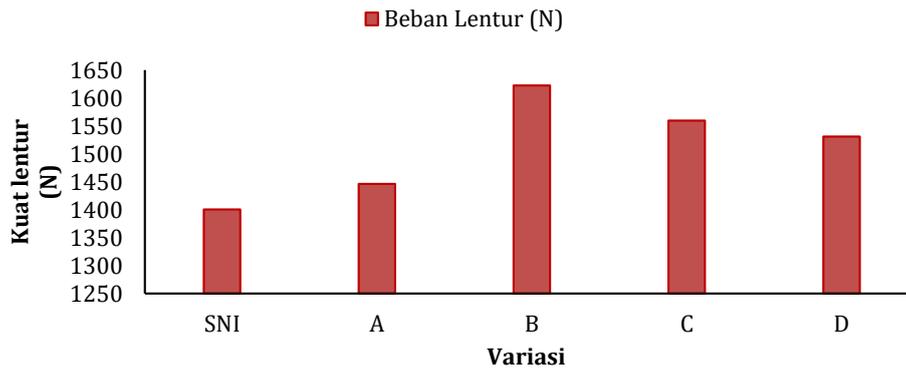
Hasil pengujian kerataan genteng beton dapat dilihat pada Tabel 5, pengujian kerataan dilakukan dengan meletakkan genteng beton pada permukaan yang rata lalu permukaan bawah di cek menggunakan baja pipih ukuran 3 mm. Pada semua variasi mulai dari genteng beton konvensional hingga genteng beton dengan substitusi abu sekam padi dan *bottom ash* memiliki kerataan yang tidak lebih dari 3 mm sehingga kerataan genteng beton sudah memenuhi SNI 0096:2007.

Tabel 5. Pengujian kerataan

No.	Variasi	Kerataan
1	A	Kurang dari 3 mm
2	B	Kurang dari 3 mm
3	C	Kurang dari 3 mm
4	D	Kurang dari 3 mm

3.2. Analisis beban lentur

Pengujian beban lentur pada genteng beton dilakukan saat beton telah berumur 28 hari dan diuji dengan 5 sampel sesuai SNI 0069:2007 dari masing masing variasi genteng beton konvensional dan variasi genteng beton dengan substitusi abu sekam padi dan *bottom ash*. Hasil pengujian beban lentur pada genteng beton dapat dilihat pada gambar 4. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa nilai kuat lentur terdapat pada variasi B dengan substitusi 5% abu sekam padi dan 10% *bottom ash* merupakan nilai kuat lentur tertinggi dengan nilai lentur rata – rata adalah 1622,58 N, sedangkan nilai kuat lentur terendah terdapat pada variasi A dengan substitusi 0% abu sekam padi dan 10% *bottom ash* dengan nilai lentur rata – rata adalah 1446,19 N. Variasi D dengan substitusi 5% abu sekam padi dan 7,5% *bottom ash* memiliki nilai lentur rata- rata adalah 1530,79 N pada genteng beton substitutisi abu sekam padi dan *bottom ash*. memiliki nilai kuat lentur genteng beton substitusi terendah tetapi masih bisa digunakan sebagai penutup atap karena telah memenuhi syarat SNI 0096:2007 dengan nilai kuat lentur minimal adalah 1400 N. Adapun nilai kuat lentur disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Nilai kuat lentur

3.4. Penyerapan air (porositas)

Pengujian penyerapan air pada genteng beton dilakukan terhadap dua benda uji pada masing – masing variasi mulai dari variasi genteng beton konvensional hingga variasi genteng beton dengan substitusi abu sekam padi dan *bottom ash*. Menurut SNI 0096:2007 penyerapan air maksimal pada genteng beton adalah 10% dari berat kering genteng beton. Pengujian penyerapan air (*porositas*) pada genteng beton dapat dilihat pada tabel 6. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis perhitungan penyerapan air didapatkan nilai penyerapan air minimal terjadi pada variasi C dengan substitusi 2,5% abu sekam padi dan 10% *bottom ash* memiliki nilai penyerapan air adalah 5,200% Sedangkan nilai penyerapan air maksimal terjadi pada variasi A dengan substitusi 0% abu sekam padi dan 0% *bottom ash* yang memiliki nilai penyerapan air yaitu 8,375% Dapat disimpulkan bahwa genteng beton dengan substitusi abu sekam padi dan *bottom ash* memiliki nilai *porositas* lebih kecil dari genteng beton konvensional, sehingga abu sekam padi dan *bottom ash* dapat minimalisasi penyerapan air pada genteng beton. Adapun hasil pengujian porositas disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai porositas

Sampel Benda Uji	Porositas (%)
A	8,375
B	6,265
C	5,200
D	6,400

3.5. Rembesan air (impermeabilities)

Pengujian rembesan air (*impermeabilities*) dilakukan terhadap 2 buah benda uji yang telah berumur 28 hari pada masing – masing variasi konvensional dan dengan substitusi abu sekam padi dan *bottom ash*. Menurut SNI 0096:2007 tidak boleh ada tetesan air pada genteng beton dalam waktu 20 jam ± 5 menit. Pengujian rembesan air dapat dilihat pada Tabel 7. Berdasarkan pengujian dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi tetesan air selama 20 jam ± 5 menit pada genteng beton konvensional dan genteng beton dengan substitusi abu sekam padi dan *bottom ash*.

Tabel 7. Pengujian impermeabilitas

Sampel Benda Uji	Impermeabilities
A	Tidak ada tetesan air
B	Tidak ada tetesan air
C	Tidak ada tetesan air
D	Tidak ada tetesan air

3.6. Biaya material

Biaya material berdasarkan website Dinas PU Bina Marga dan Cipta Kerja di Kota Semarang Harga Satuan Pekerjaan Konstruksi Edisi Ke-1 Tahun 2023 untuk ukuran 1 buah genteng beton. Biaya material untuk genteng A konvensional dapat dilihat pada Tabel 8. Berdasarkan Tabel 8 disimpulkan bahwa jumlah biaya material yang diperlukan untuk membuat genteng konvensional (A) adalah sebesar Rp. 3.499,97.

Tabel 8. Analisis harga genteng beton A

Material (60%)	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga Jumlah (Rp)
Semen	0,46	Kg	1.400,00	644,00
Pasir	1,54	Kg	833,00	1.282,82
Air	0,52	L	333,00	173,16
Alat (10%)				350,00
Upah (30%)				1049,99
Total				3.499,97

Selanjutnya, adalah biaya material inovasi genteng beton dengan substitusi 5% abu sekam padi dan 10% *bottom ash* dijelaskan pada Tabel 9. Berdasarkan Tabel 9 disimpulkan bahwa jumlah biaya material yang diperlukan untuk membuat genteng B adalah sebesar Rp. 3.286,12.

Tabel 9. Analisis harga genteng beton B

Material (60%)	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga Jumlah (Rp)
Semen	0,41	Kg	1.400,00	574,00
Pasir	1,47	Kg	833,00	1.224,51
Air	0,52	L	333,00	173,16
ASP	0,12	Kg	0,00	0,00
BA	0,08	Kg	0,00	0,00
Alat (10%)				328,61
Upah (30%)				985,84
Total				3.286,12

Selanjutnya, adalah biaya material inovasi genteng beton dengan substitusi 2,5% abu sekam padi dan 10% *bottom ash* dijelaskan pada Tabel 10. Berdasarkan Tabel 10 disimpulkan bahwa jumlah biaya material yang diperlukan untuk membuat genteng C adalah sebesar Rp. 3.341,65.

Tabel 10. Analisis harga genteng beton C

Material (60%)	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga Jumlah (Rp)
Semen	0,41	Kg	1.400,00	574,00
Pasir	1,51	Kg	833,00	1.257,83
Air	0,52	L	333,00	173,16
ASP	0,06	Kg	0,00	0,00
BA	0,08	Kg	0,00	0,00
Alat (10%)				334,16
Upah (30%)				1002,50
Total				3.341,65

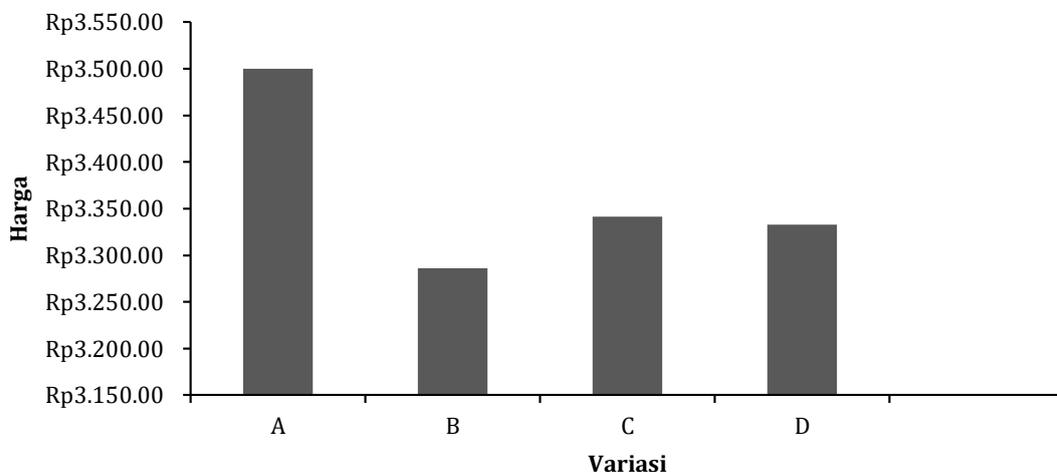
Selanjutnya, adalah biaya material inovasi mortar dengan substitusi 5% abu sekam padi dan 7,5%

bottom ash dijelaskan pada Tabel 11. Berdasarkan Tabel 11 disimpulkan bahwa jumlah biaya material yang diperlukan untuk membuat genteng D adalah sebesar Rp. 3.332,78.

Tabel 11. Analisis harga genteng beton D

Material (60%)	Koefisien	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga Jumlah (Rp)
Semen	0,43	Kg	1.400,00	602,00
Pasir	1,47	Kg	833,00	1.224,51
Air	0,52	L	333,00	173,16
ASP	0,12	Kg	0,00	0,00
BA	0,06	Kg	0,00	0,00
Alat (10%)				333,28
Upah (30%)				999,83
Total				3.332,78

Dari perhitungan kebutuhan biaya produksi tiap variasi dapat disimpulkan bahwa harga produksi genteng beton konvensional mengeluarkan biaya sebesar Rp. 3.499,97 untuk 1 buah genteng. Sementara hasil perhitungan biaya produksi 1 buah genteng beton untuk variasi genteng beton dengan campuran abu sekam padi dan *bottom ash* lebih murah karena terjadi penekanan sebesar Rp 213,85 terhadap genteng beton variasi B karena merupakan genteng beton dengan harga produksi paling rendah. Hal tersebut disebabkan substitusi abu sekam padi dan *bottom ash* pada campuran yang menyebabkan penggunaan semen dan pasir berkurang. Sehingga genteng beton variasi B mempunyai harga yang lebih rendah dari genteng beton konvensional. Perbandingan harga setiap variasi genteng beton dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan harga

3.7. Perbandingan variasi genteng beton

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan didapatkan hasil pengujian yang dilaksanakan sesuai SNI 0096:2007 yaitu pengujian mutu (sifat tampak, bentuk, dan kerataan), pengujian beban lentur, pengujian penyerapan air (*porositas*), dan pengujian rembesan air (*impermeabilitas*). Pada pengujian mutu didapatkan hasil bahwa abu sekam padi dan *bottom ash* tidak mempengaruhi bentuk dan kerataan dari genteng beton, akan tetapi *bottom ash* mempengaruhi sifat tampak berupa warna pada genteng beton, hal ini disebabkan karena *bottom ash* memiliki pigmen warna yang pekat.

Pengujian terdahulu (Rachman, 2015) menghasilkan kuat lentur maksimal terjadi pada campuran 10% abu batu terbang (*fly ash*) dan 20% abu sekam padi dimana abu batu dan abu sekam padi di substitusikan terhadap semen. Pada penelitian ini abu sekam padi di substitusikan terhadap pasir dan

bottom ash di substitusikan terhadap semen, sehingga menghasilkan kuat lentur maksimal pada variasi B yaitu 5% abu sekam padi dan 10% *bottom ash*. Abu sekam padi dan *bottom ash* adalah bahan-bahan pozzolanik, yang berarti memiliki kemampuan alami untuk bereaksi dengan kalsium hidroksida yang dihasilkan selama hidrasi semen Portland. Reaksi ini membentuk kekuatan ikatan yang kuat, menghasilkan struktur beton yang padat dan kuat.

Pada pengujian terdahulu (Arbiansyah, 2016) resapan air minimal pada genteng terjadi pada substitusi 5% abu sekam padi dan 7,5% batu apung, dalam penelitian ini resapan air minimal berada pada 2,5% abu sekam padi dan 10% *bottom ash*. Pada penelitian ini *bottom ash* berperan penting dalam meminimalisir resapan air yang terjadi pada genteng karena mengandung silika, yang dapat berperan dalam mengisi pori-pori genteng beton dan membentuk produk hidrasi yang lebih padat, dan dapat membatasi pergerakan air melalui genteng beton (Oktaviani, 2021).

Pengujian rembesan air (*impermeabilities*) selama 20 jam + 5 menit, dari pengujian didapatkan hasil bahwa tidak terdapat tetesan air selama 20 jam + 5 menit pada semua variasi. Abu sekam padi dan *bottom ash* memiliki sifat pozzolana yaitu mampu mereaksikan dengan kalsium hidroksida dalam beton dan membentuk komponen kuat tambahan, yaitu kalsium silikat hidrat (Oktaviani, 2021).

Tabel 12. Rekapitulasi hasil pengujian

Pengujian	A	B	C	D
Sifat tampak	Halus, tidak retak, warna abu kecokelatan	Halus, tidak retak, warna abu pekat	Halus, tidak retak, warna putih ke abuan	Halus, tidak retak, warna abu - abu
Ukuran	Memenuhi SNI 0096:2007	Memenuhi SNI 0096:2007	Memenuhi SNI 0096:2007	Memenuhi SNI 0096:2007
Kerataan	Memenuhi SNI 0096:2007	Memenuhi SNI 0096:2007	Memenuhi SNI 0096:2007	Memenuhi SNI 0096:2007
Beban lentur	1446,19 N (Memenuhi SNI 0096:2007)	1622,58 N (Memenuhi SNI 0096:2007)	1559,67 N (Memenuhi SNI 0096:2007)	1530,79 N (Memenuhi SNI 0096:2007)
Penyerapan Air	8,375% (Memenuhi SNI 0096:2007)	6,265% (Memenuhi SNI 0096:2007)	5,200% (Memenuhi SNI 0096:2007)	6,400% (Memenuhi SNI 0096:2007)
Rembesan Air	Memenuhi SNI 0096:2007	Memenuhi SNI 0096:2007	Memenuhi SNI 0096:2007	Memenuhi SNI 0096:2007

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan hasil sebagai berikut:

- 1) Hasil pengujian kuat lentur, pengujian daya serap air, dan pengujian rembesan air didapatkan hasil sebagai berikut:
 - a. Nilai terbaik dari uji kuat lentur berada di variasi B dengan nilai kuat lentur 1622,58 N, sedangkan nilai terendah berada pada variasi A dengan nilai kuat lentur 1446,19 N
 - b. Nilai terbaik pada uji daya serap air berada pada variasi C dengan nilai daya serap air 5,200%, sedangkan nilai terendah berada pada variasi A dengan nilai daya serap air 8,375%
- 2) Berdasarkan penelitian dan hasil pengujian, didapatkan biaya pembuatan untuk 1 buah genteng beton konvensional A adalah Rp. 3.499,97 Sedangkan harga genteng beton terbaik berada pada variasi B dengan persentasi 5% abu sekam padi dan 10% *bottom ash* dengan harga produksi Rp. 3.286,12 Genteng beton dengan variasi B selain memiliki biaya produksi yang rendah juga menghasilkan genteng beton dengan nilai kuat lentur maksimal diantara variasi lainnya.

Penggunaan limbah abu sekam padi dan *bottom ash* sebagai substitusi sebagian semen pada pembuatan genteng beton terbukti meningkatkan kekuatan lentur dan kemampuan daya serap air genteng menjadikannya alternatif material yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Tuhan YME, dosen pembimbing, serta seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan hasil penelitian. Diharapkan penelitian ini dapat berguna bagi pembaca sebagai salah satu sumber literatur.

REFERENSI

- Alfian. (2010). Pengaruh penambahan pasir mutilan terhadap kualitas genteng keramik di Kecamatan Boja, Kabupaten Kendal. Skripsi Sarjana, Universitas Negeri Semarang.
- Apriansyah, Hasim, A., Marwadi, A., & Chalid, N. I. (2022). Studi eksperimental kuat tekan bata merah dengan variasi penambahan abu sekam padi. *Jurnal Riset & Teknologi Terapan Kemaritiman*, 1(2), 1–12.
- Arbiansyah, R. (2016). Pengaruh pemanfaatan abu sekam padi dan batu apung terhadap karakteristik tanah liat tradisional. Skripsi Diploma, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2022, August 10). Realisasi batubara untuk kelistrikan capai 72,94 juta ton. Retrieved from <https://esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/semester-i-2022-realisasi-batubara-untuk-kelistrikan-capai-7294-juta-ton>.
- Musabbikah, M., & Putro, S. (2007). Variasi komposisi bahan genteng soka untuk mendapatkan daya serap air yang optimal. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 8(2).
- Badan Standardisasi Nasional. (1989). SK-SNI-S-04-1989-F spesifikasi bahan bangunan bagian A (bahan bangunan bukan logam). Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). SNI 03-1972-1990 metode pengujian slump beton. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2007). SNI 0096: 2007 genteng beton.
- Oktaviani, T. (2021). Pemanfaatan bottom ash sebagai substitusi sebagian agregat halus pada mortar semen. Skripsi Diploma, Politeknik Negeri Jakarta.
- Rachman, F. (2015). Pengaruh abu sekam padi dan abu batu pada pembuatan genteng beton. Skripsi Sarjana, Universitas Jember.
- Sari, A. M. (2023). Pengertian, macam, dan manfaat limbah padi. Medan: Fakultas Peranian Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Retrieved from <https://faperta.umsu.ac.id/2023/05/09/pengertian-macam-dan-manfaat-limbah-padi/>.