

Pemanfaatan Limbah Serbuk Kaca dan Abu Sekam Padi pada Formulasi Timbunan Mortar Busa untuk Konstruksi Berkelanjutan

Iskandar¹, Atmy Verani Rouly Sihombing¹, Aditia Febriansya¹, Ahmad Zulpanani¹,
Agus Suyono¹, Hasna Indah Nafisah², Nobrinza Fachra²

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung¹

D-3 Teknik Konstruksi Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Bandung²

E-mail: aditia.febriansya@polban.ac.id

Abstrak

Hadirnya teknologi mortar busa sebagai konstruksi alternatif untuk solusi tanah problematik di Indonesia menjadikan penggunaan kebutuhan bahan konstruksi meningkat di era perkembangan infrastruktur. Penelitian ini dilakukan dengan pembuatan mix design kuat tekan rencana 800 kPa variasi campuran abu sekam padi sebagai substitusi semen sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dan serbuk kaca sebagai substitusi agregat halus sebesar 10%. Tujuannya untuk menguji pengaruh bahan substitusi dari limbah terhadap kuat tekan mortar busa. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder diameter 10 cm dan tinggi 20 cm sebanyak 63 benda uji. Dilakukan pengujian kuat tekan pada umur 3, 7, dan 14 hari. Hasil kuat tekan rata-rata mortar busa normal pada umur 14 hari mencapai hasil rencana, yaitu sebesar 868,35 kPa. Mortar busa dengan variasi serbuk kaca 10% tanpa abu sekam padi mendapatkan 534,70 kPa. Sedangkan mortar busa dengan variasi serbuk kaca 10% dan abu sekam padi 5% 10%, 15%, 20%, dan 25% mendapatkan 166,74 kPa, 91,65 kPa, 83,06 kPa, 121,99 kPa, dan 282,86 kPa. Penggunaan abu sekam padi dan serbuk kaca terhadap kuat tekan mortar busa menurun secara signifikan dibanding mortar busa normal sehingga diperlukan kajian lebih lanjut terhadap potensi penggunaan abu sekam padi dan serbuk kaca dalam campuran mortar busa.

Kata kunci: abu sekam padi, mortar busa, serbuk kaca, timbunan ringan.

Abstract

The introduction of foam mortar technology as an alternative construction solution for problematic soils in Indonesia has increased the demand for construction materials in the era of infrastructure development. This study was conducted by creating a mix design with a target compressive strength of 800 kPa, incorporating variations of rice husk ash as a cement substitute at 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25%, and glass powder as a fine aggregate substitute at 10%. The aim was to test the effect of these waste substitution materials on the compressive strength of foam mortar. The test specimens used were cylindrical with a diameter of 10 cm and a height of 20 cm, totaling 63 specimens. Compressive strength tests were conducted at 3, 7, and 14 days. The average compressive strength of normal foam mortar at 14 days reached the target, which was 868.35 kPa. Foam mortar with a 10% glass powder variation without rice husk ash achieved 534.70 kPa. Meanwhile, foam mortar with a 10% glass powder variation and 5%, 10%, 15%, 20%, and 25% rice husk ash achieved 166.74 kPa, 91.65 kPa, 83.06 kPa, 121.99 kPa, and 282.86 kPa, respectively. The use of rice husk ash and glass powder significantly reduced the compressive strength of foam mortar compared to normal foam mortar, indicating the need for further study on the potential use of rice husk ash and glass powder in foam mortar mixtures.

Keywords: rice husk ash, foam mortar, glass powder, lightweight embankment.

1. PENDAHULUAN

Pembangunan pendekat (oprit) pada *fly over* dan jembatan perlu menjadi perhatian karena pembangunannya membutuhkan lahan pekerjaan yang luas dan kebutuhan kemiringan lereng yang perlu dipersiapkan dalam penggunaan alat berat jika masih menggunakan metode pekerjaan secara konvensional. Teknologi mortar busa dapat digunakan sebagai pengganti timbunan tanah (*sub base*) tanpa membutuhkan lahan yang luas karena dapat dibangun dengan posisi tegak dan tidak membutuhkan dinding penahan tanah (Kalsum & Wahab, 2015). Mortar busa adalah material menyerupai beton yang terdiri dari campuran material pasir, semen, air, dan cairan busa (*foam agent*). Penghematan waktu hingga 50% jika dibandingkan dengan pembangunan *fly over* secara konvensional. Dengan adanya penghematan waktu tersebut dapat menghemat biaya hingga 70%. (Iqbal & Hayu, 2020) menyatakan berkembangnya isu keterbatasan sumber daya saat ini menciptakan konsep *green building* dengan *sustainable design*, yaitu perancangan bangunan dengan menggunakan sumber daya alternatif untuk mengurangi kerusakan lingkungan. Selain itu, dengan bobot yang ringan, mortar busa disebut juga sebagai timbunan ringan dapat meningkatkan stabilitas konstruksi timbunan dan dapat mengurangi penurunan pada tanah lunak yang memiliki daya dukung rendah dan kompresibilitas tinggi (Febriansya et al., 2022, 2024; Syahril et al., 2019).

Abu sekam padi merupakan limbah pertanian yang berasal dari kulit/sekam padi (Luahambowo et al., 2019). Abu sekam padi memiliki kandungan silika (SiO_2) sebesar 90 – 96% (Victor & Septianti, 2019). Akan tetapi jika mendekati atau $\leq 90\%$ kemungkinan terjadi karena faktor terkontaminasinya sekam padi oleh zat-zat asing yang memiliki kandungan silika rendah. (Triastuti & Nugroho, 2017) melakukan penelitian tentang pengujian kuat tekan dan kuat lentur beton busa ringan dengan abu sekam padi sebagai substitusi parsial semen. Hasil pengujian menunjukkan variasi substitusi semen oleh abu sekam padi sebesar 10% memiliki nilai kuat tekan yang optimum. Penambahan abu sekam padi tidak meningkatkan nilai kuat lentur pada beton busa ringan.

Serbuk kaca memiliki sifat yang serupa dengan agregat. Hanya saja permukaan serbuk kaca lebih kasar dibandingkan agregat. Pada penelitian (Suhartini et al., 2014) menyatakan serbuk kaca memiliki ketahanan yang tinggi terhadap abrasi di mana karakteristik tersebut langka dalam agregat alami dan bersifat *zero water absorption* sehingga dapat mengisi rongga-rongga pada mortar busa yang menjadikan mortar busa bersifat kedap air dan memiliki tingkat durabilitas yang tinggi. (Pratama et al., 2022) melakukan penelitian tentang pengujian kuat tekan beton dengan serbuk kaca sebagai substitusi parsial agregat halus dengan mutu beton f'_{cr} 20 MPa. Hasil pengujian menunjukkan variasi substitusi agregat halus oleh serbuk kaca sebesar 10% memiliki nilai kuat tekan beton yang optimum.

Tujuan dari penelitian ini untuk memberikan inovasi dalam pembangunan oprit *fly over* maupun jembatan dengan mengoptimalkan waktu penyelesaian proyek dan pemanfaatan limbah serbuk kaca sebagai agregat halus maupun abu sekam padi sebagai pengganti semen dalam campuran mortar busa untuk lapisan *sub base* sesuai dengan peraturan (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2019) sebagai pengembangan material konstruksi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Metode pelaksanaan menggunakan metode eksperimental laboratorium. Bertujuan untuk menguji komposisi yang digunakan mencapai kekuatan rencana dalam hasil pengujian kuat tekan bebas (UCS). Pencampuran bahan pada mortar busa dilakukan dengan cara substitusi sebagian berdasarkan perhitungan *mix design* dengan komposisi semen menjadi abu sekam padi (ASP) dan agregat halus menggunakan serbuk kaca (SK) dengan variasi kombinasi seperti terlihat pada Tabel 1.

Kode sampel ASP 0% + SK 0% atau disebut benda uji normal merupakan benda uji mortar busa tanpa bahan campuran sesuai dengan spesifikasi dalam Peraturan Kementerian PUPR: SKh-1.7.21. Sementara variasi mortar busa dengan ASP 5% + SK 10% merupakan variasi mortar busa menggunakan substitusi sebagian bahan semen berdasarkan berat komposisi *mix design* menjadi abu sekam padi sebesar 5% dan substitusi sebagian bahan agregat halus menjadi serbuk kaca sebesar 10% begitu pun dengan variasi mortar busa yang lainnya. Setiap variasi kombinasi memiliki sembilan sampel benda uji seperti terlihat pada Tabel 2 dengan benda uji silinder berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm seperti pada peraturan (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017).

Tabel 1. Variasi Penelitian

No	Kode Sampel
1	ASP 0% + SK 0%
2	ASP 0% + SK 10%
3	ASP 5% + SK 10%
4	ASP 10% + SK 10%
5	ASP 15% + SK 10%
6	ASP 20% + SK 10%
7	ASP 25% + SK 10%

Tabel 2. Variabel dan Jumlah Benda Uji Modifikasi Mortar Busa

Variabel Benda Uji	Umur Benda Uji (hari)	Jumlah Benda Uji
		Pengujian Kuat Tekan Bebas (UCS) + <i>Density</i>
Mortar Busa Asli	3	3
	7	3
	14	3
ASP 0% + SK 10%	3	3
	7	3
	14	3
ASP 5% + SK 10%	3	3
	7	3
	14	3
ASP 10% + SK 10%	3	3
	7	3
	14	3

	3	3
ASP 15% + SK 10%	7	3
	14	3
ASP 20% + SK 10%	3	3
	7	3
	14	3
ASP 25% + SK 10%	3	3
	7	3
	14	3
Jumlah		63

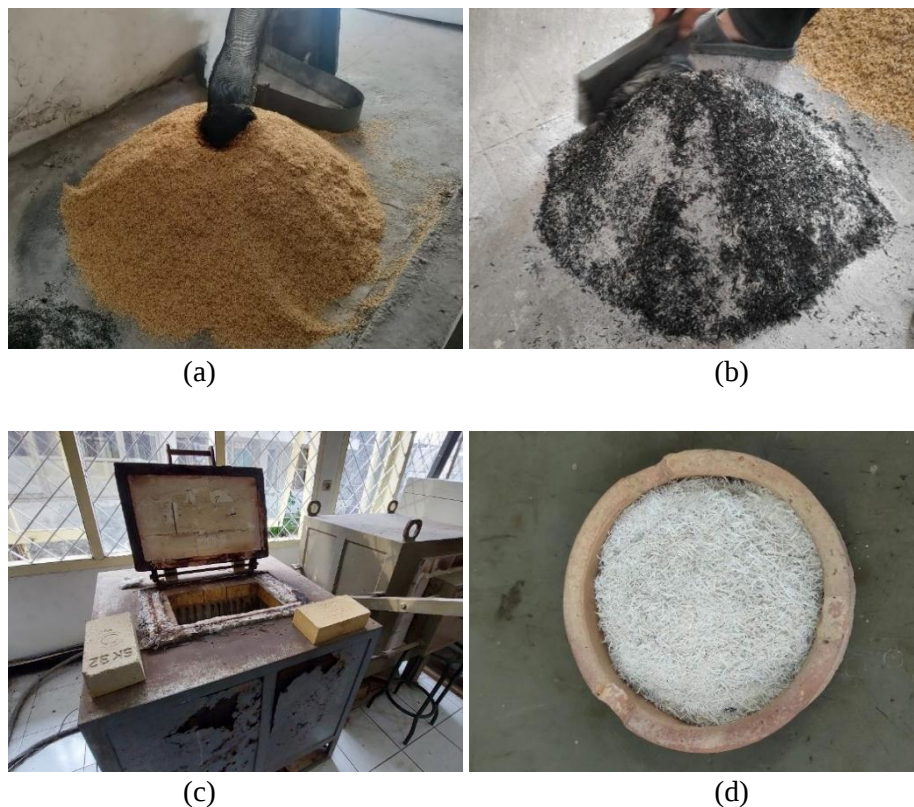
Selain dari alat yang digunakan seperti pada campuran beton, terdapat juga alat yang perlu digunakan khusus dalam pembuatan campuran mortar busa sesuai dengan spesifikasi Peraturan Kementerian PUPR: SKh-1.7.21. di antaranya penggunaan alat *foam generator* seperti terlihat pada Gambar 1 (a). Kompresor yang digunakan kompresor listrik Krisbow dengan tipe KW13-04 dengan kapasitas 8 bar dan daya 220 V/1 Ph seperti terlihat pada Gambar 1 (b).

Alat penunjang lain yang digunakan dalam campuran mortar busa di antaranya: *mixer*, cetakan silinder beton, timbangan dengan ketelitian 0,0001 gram, gelas ukur kapasitas 500 L dan 2000 L, alat pada pengujian *slump flow* (*ring flow*, papan kaca, dan penggaris), dan alat kuat tekan bebas (UCS). Sedangkan untuk bahan yang diperlukan dalam campuran mortar busa di antaranya: semen, agregat halus, *agent foam*, air, abu sekam padi, dan serbuk kaca. Bahan substitusi yang digunakan, yakni abu sekam padi dan serbuk kaca yang tidak bisa didapatkan dengan mudah di pasaran. Oleh karena itu, diperlukan adanya pengolahan pada kedua bahan tersebut.



Gambar 1. Alat pada Campuran Mortar Busa (a) *Foam Generator* (b) Kompresor

Pengolahan abu sekam padi dilakukan berdasarkan metode (Bakri, 2009). Sekam padi yang digunakan berasal dari hasil limbah pertanian daerah Ngamprah, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat yang dibakar pada suhu 400°–700°C hingga menjadi abu dengan kandungan silika. Semakin tinggi suhu pembakaran, maka kadar silika murni akan semakin tinggi (Siregar et al., 2020). Pembakaran dilakukan dalam dua tahap, yakni pengarangan pada suhu $\pm 400^{\circ}\text{C}$ dalam ruang terbuka menggunakan corong asap selama ± 24 jam hingga tumpukan abu sekam padi terbakar secara merata dan pengabuan dalam tungku listrik pada suhu $\pm 700^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam di Balai Besar Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri Keramik dan Mineral Nonlogam Bandung (BBSPJI) seperti dapat terlihat pada **Gambar 2**. Kemudian, abu sekam padi diayak dalam ayakan No. 200 untuk menghasilkan kehalusan yang sama dengan semen sebagai bahan yang akan disubstitusikannya.



Gambar 2. Proses Pembuatan Abu Sekam Padi (a) Pengarangan pada Suhu $\pm 400^{\circ}\text{C}$ (b) Hasil Pengarangan (c) Pengabuan dalam Tungku Listrik pada suhu $\pm 700^{\circ}\text{C}$ (d) Hasil Pengabuan

Serbuk kaca didapat dengan cara melakukan percobaan memecahkan botol kaca menggunakan mesin abrasi Los Angeles seperti pada penelitian (Zakaria, 2020). Sementara komposisi bola baja dan putaran pada mesin Los Angeles dilakukan dengan percobaan (*trial and error*) seperti terlihat pada Tabel 2 dan Gambar 3. Serbuk kaca yang digunakan sebagai bahan substitusi adalah jenis kaca bening dengan gradasi agregat halus atau dari lolos saringan No.4 hingga tertahan saringan No.200.

Tabel 2. Percobaan dalam Pemecahan Botol Kaca

Percobaan	Jumlah Bola Baja (buah)	Jumlah Putaran	Berat Kaca (kg)
1	8	1000	± 4
2	11	500	± 2
3	11	1000	± 2



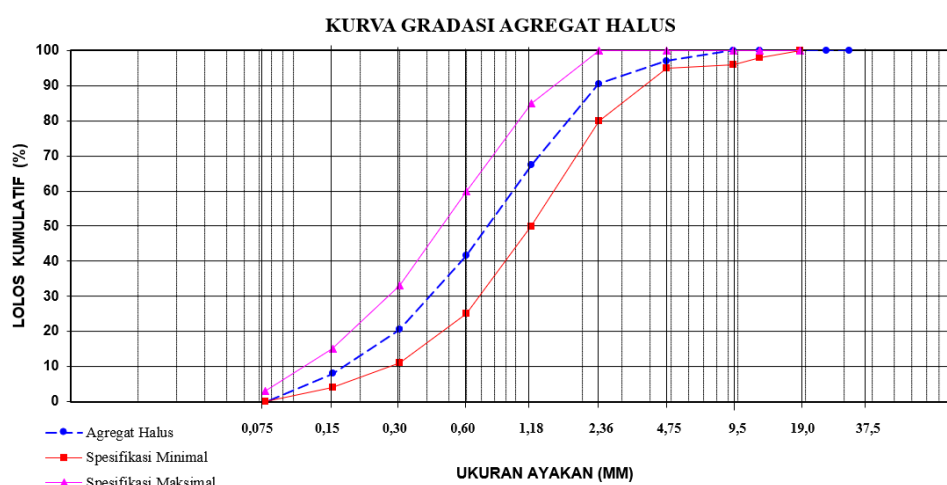
Gambar 3. Proses Pembuatan Serbuk Kaca (a) Pemecahan Botol Kaca pada Mesin Abrasi Los Angeles (b) Hasil Serbuk Kaca

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap pengujian material dilakukan pada setiap bahan campuran mortar busa yang digunakan, di antaranya semen dengan berat jenis sebesar $2,85 \text{ gr/cm}^3$ dan agregat halus dengan melalui beberapa tahap uji karakteristik, seperti terlihat pada Tabel 3. (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021) menyatakan mengenai gradasi yang digunakan pada campuran mortar busa dengan hasil gradasi yang digunakan seperti terlihat pada Gambar 4.

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Hasil
1	Berat jenis dalam SSD	2,51
2	Penyerapan air (%)	6,86
3	Berat isi padat (gr/cm^3)	1,63
4	Kadar air (%)	10,39
5	Kadar butir lolos ayakan No. 200 (%)	3,53
6	Kadar zat organik	No. 1



Gambar 4. Kurva Gradasi Agregat Halus

Sementara untuk abu sekam padi didapat hasil berat jenis sebesar 2,275 gr/cm³ dengan uji *Particle Size Analyzer* (PSA) dan komposisi kimia yang dilakukan di BBPMB TekMIRA Bandung dengan hasil uji PSA dapat terlihat pada Tabel 4 dan komposisi kimia pada Tabel 5. Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia abu sekam padi menunjukkan kandungan SiO₂ abu sekam padi yang digunakan sebesar 95,41%.

Tabel 4. Komposisi Kimia Abu Sekam Padi

No. Lab		3303/24	Metode Uji
Tanda		Sekam Padi	
SiO ₂	%	95,41	Gravimetri
Al ₂ O ₃	%	0,24	
Fe ₂ O ₃	%	0,15	
K ₂ O	%	1,10	
Na ₂ O	%	0,057	
CaO	%	0,61	ICP-OES
MgO	%	0,44	
TiO ₂	%	0,21	
P ₂ O ₃	%	0,81	
LOI	%	0,11	
SO ₃	%	0,22	Gravimetri
MnO	%	0,086	Infra Red
H ₂ O	%	0,040	ICP-OES
			Gravimetri

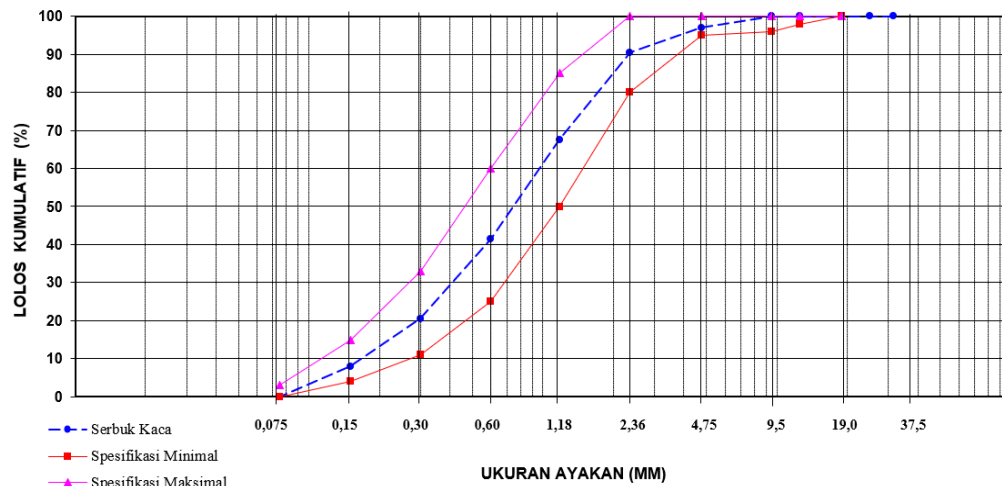
Tabel 5. PSA Abu Sekam Padi

Nomor Lab.	Sample ID	Ukuran Terbesar	D 10%	D 50%	D 90%	Ukuran Terbanyak
		(μm)				
3304/24	Sekam Padi	1822	105,3	253,6	652,6	234,1

Berdasarkan hasil pengujian tersebut diketahui bahwa ukuran abu sekam padi terbanyak yang didapatkan dari hasil pembakaran, yakni sebesar 234,1 mikrometer. Pengujian pada serbuk kaca sebagai substitusi bahan sebagian dari agregat halus melalui tahap uji karakteristik serupa untuk membandingkan juga menilai kelayakan bahan sebelum digunakan pada campuran mortar busa dengan hasil pengujian gradasi terlihat pada Gambar 5 dan hasil uji lainnya pada **Tabel 6**.

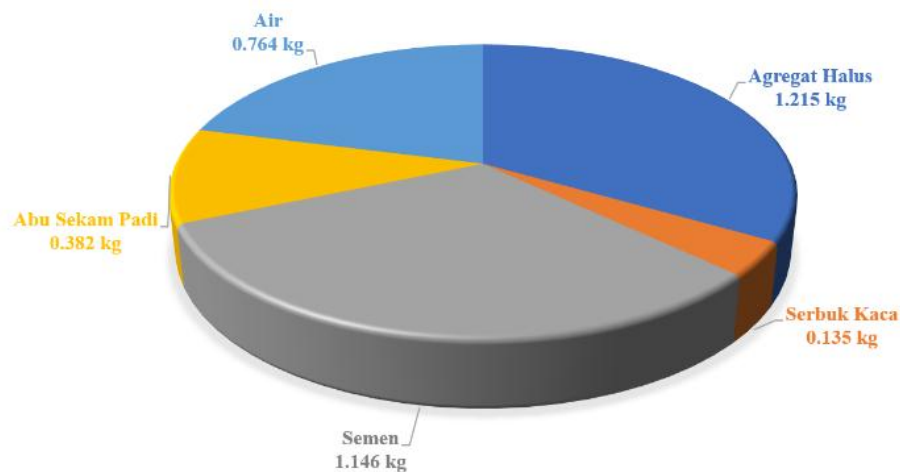
Tabel 6. Hasil Pengujian Serbuk Kaca

No	Jenis Pengujian	Hasil
1	Berat jenis dalam SSD	2,48
2	Penyerapan air (%)	1,23
3	Berat isi padat (gr/cm ³)	2,04
4	Kadar air (%)	0,19
5	Kadar butir lolos ayakan No. 200 (%)	4,28
6	Kadar zat organik	No. 1



Gambar 5. Kurva Gradasi Serbuk Kaca

Mix design yang digunakan pada campuran mortar busa sesuai dengan Peraturan Kementerian PUPR: SKh-1.7.21. Contoh komposisi penggunaan bahan terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Komposisi *Mix Design* ASP 25% + SK 10%

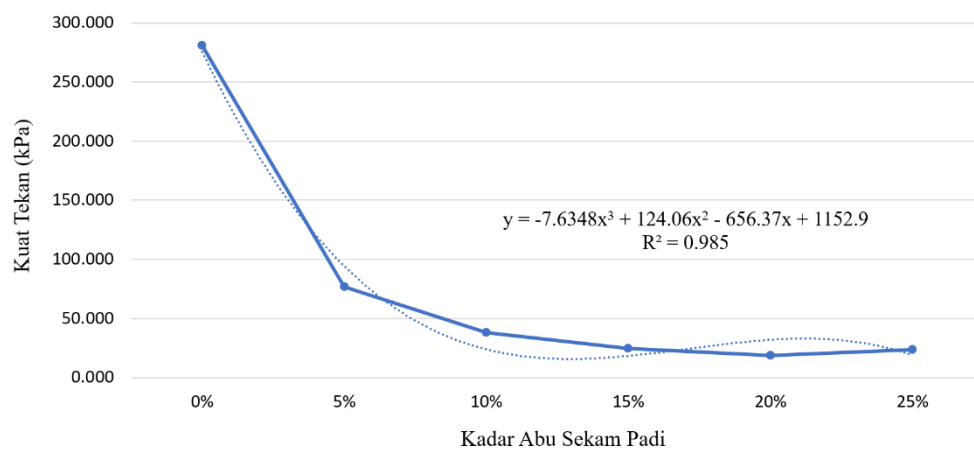
Pengujian dilakukan sesuai dengan metode uji kuat tekan bebas menggunakan alat merek Controls, model 34 V0107/CBR Serial nr. 16007237 seperti terlihat pada Gambar 7. Uji kuat tekan bebas dilakukan ketika benda uji telah mencapai umur mortar busa 3, 7, dan 14 hari seperti terlihat pada Gambar 8 didapat nilai kuat tekan terhadap kadar abu sekam padi seperti terlihat pada Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11.



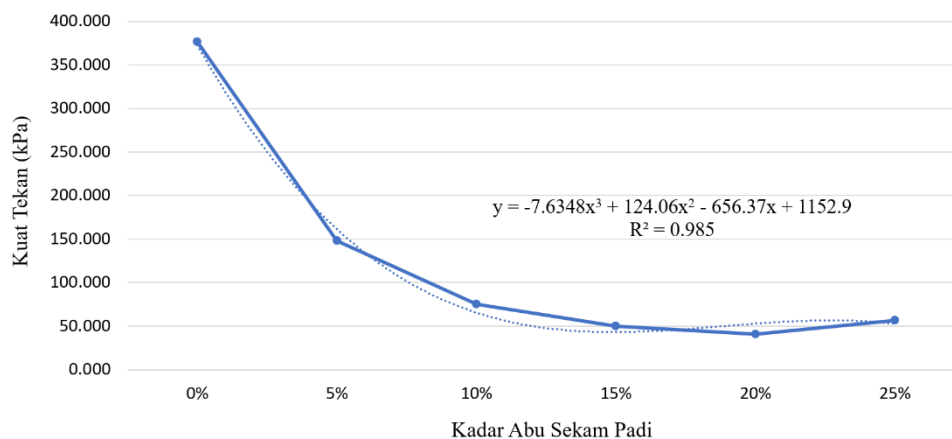
Gambar 7. Pengujian Kuat Tekan



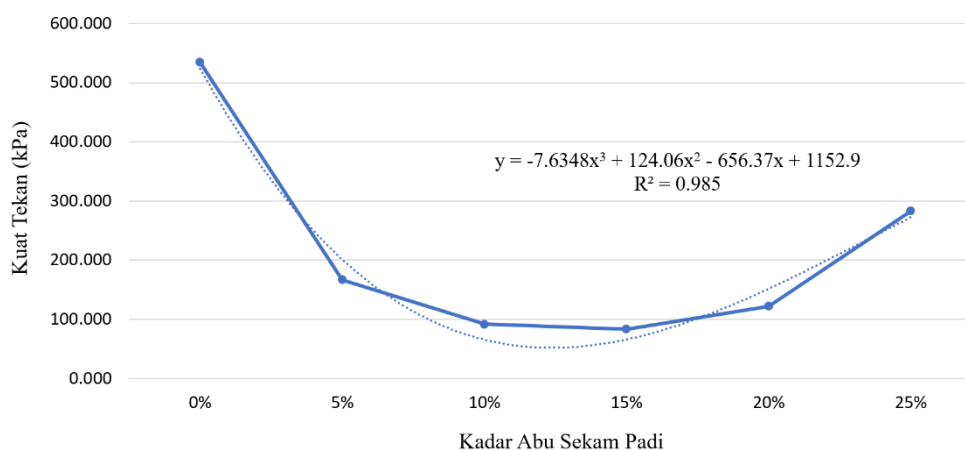
Gambar 8. Benda Uji (a) Normal (b) ASP 0% + SK 10% (c) ASP 5% + SK 10% (d) ASP 10% + SK 10% (e) ASP 15% + SK 10% (f) ASP 20% + SK 10% (g) ASP 25% + SK 10%



Gambar 9. Grafik Hubungan Kuat Tekan Mortar Busa Umur 3 hari terhadap Kadar Abu Sekam Padi



Gambar 10. Grafik Hubungan Kuat Tekan Mortar Busa Umur 7 hari terhadap Kadar Abu Sekam Padi

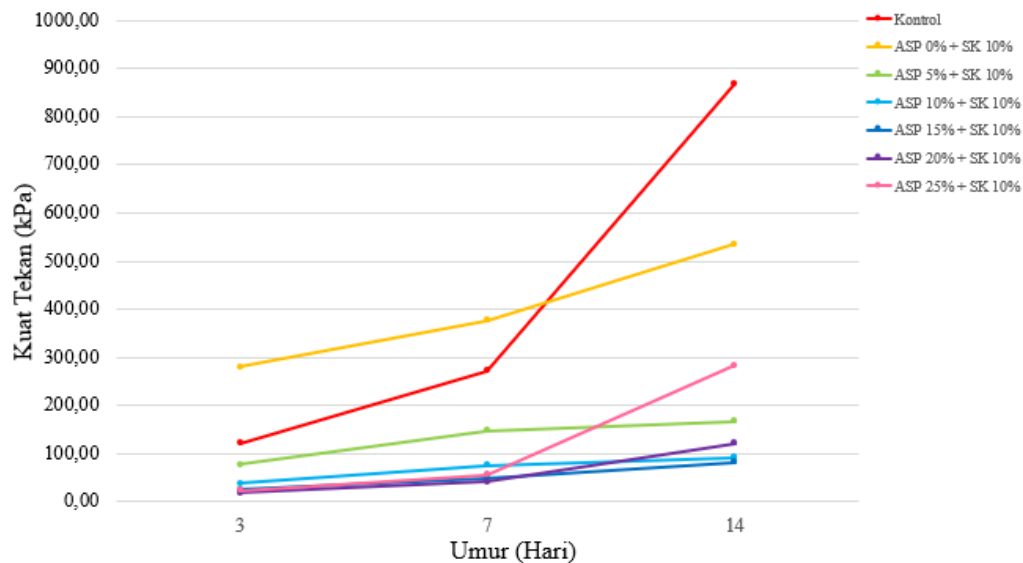


Gambar 11. Grafik Hubungan Kuat Tekan Mortar Busa Umur 14 hari terhadap Kadar Abu Sekam Padi

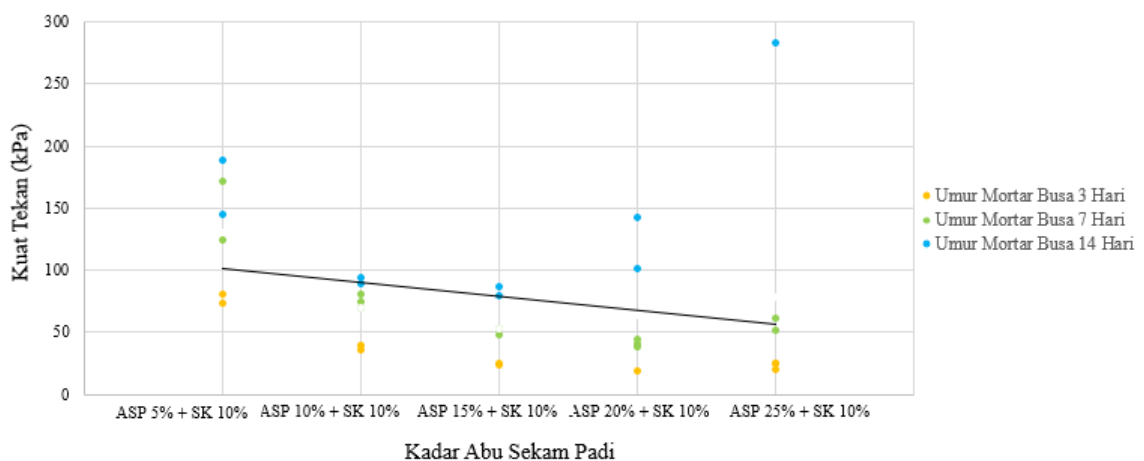
Berdasarkan Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11 menunjukkan terjadi penurunan kuat tekan mortar busa yang cukup signifikan ketika dilakukan penambahan jumlah abu sekam padi pada campuran mortar busa. Pada ASP 0% + SK 10% menunjukkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan ASP 5% + SK 10%, ASP 10% + SK 10%, ASP 15% + SK 10%, ASP 20% + SK 10%, dan ASP 25% + SK 10%. Kuat tekan yang dihasilkan mortar busa tanpa menggunakan abu sekam padi rata-rata lebih besar daripada kuat tekan mortar busa menggunakan abu sekam padi. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan (Prakusya et al., 2019) bahwa partikel abu sekam padi menjadikan jumlah porositas semakin bertambah sehingga terbentuk rongga-rongga pada mortar busa yang menyebabkan penurunan kuat tekan mortar busa, seperti yang terlihat pada Gambar 8.

Berdasarkan grafik dari hubungan kuat tekan dengan umur beton seperti terlihat pada Gambar 12 menunjukkan kenaikan kuat tekan mortar busa dengan substitusi abu sekam padi dan serbuk kaca tidak meningkat secara signifikan. Pada ASP 5% + SK 10% menunjukkan nilai kuat tekan optimum jika dibandingkan dengan ASP 10% + SK 10%, ASP 15% + SK 10%, ASP 20% + SK 10%, dan ASP 25% + SK 10%. Kuat tekan yang dimiliki ASP 5% + SK 10% sebesar 166,74 kPa dengan penurunan sebesar 80,79% dari mortar busa kontrol. Secara visual

terjadi penggumpalan abu sekam padi yang melekat pada agregat halus sehingga campuran tidak homogen dan tidak rata. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan (Rum et al., 2017) bahwa abu sekam padi menyerap air lebih banyak pada saat pencampuran.

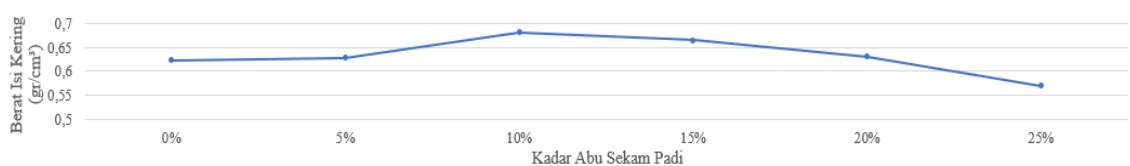


Gambar 12. Grafik Hubungan Kuat Tekan terhadap Umur Beton



Gambar 13. Trendline Kuat Tekan Mortar Busa (UCS) terhadap Kadar ASP dan SK

Berdasarkan grafik dari hubungan kuat tekan (UCS) dan kadar substitusi sebagian yang digunakan pada Gambar 13 menunjukkan semakin tinggi kadar abu sekam padi yang digunakan pada campuran mortar busa menghasilkan kuat tekan yang semakin rendah sesuai dengan pernyataan (Pascasari et al., 2014) dalam penelitiannya.



Gambar 14. Grafik Hubungan Kadar Abu Sekam Padi terhadap Berat Isi Kering Mortar Busa Umur 14 Hari

Berdasarkan grafik dari hubungan kadar abu sekam padi terhadap densitas kering yang terlihat pada Gambar 14 menunjukkan bahwa berat isi kering cenderung stabil walaupun kadar dari abu sekam padi yang berbeda dan tidak terlalu memengaruhi kuat tekan UCS.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa campuran mortar busa variasi ASP 5% + SK 10% memiliki kuat tekan yang optimum dibandingkan variasi campuran mortar busa lainnya. Penggunaan abu sekam padi dan serbuk kaca sebagai bahan substitusi cenderung menurunkan nilai kuat tekan. Pengaplikasian mortar busa dengan bahan substitusi abu sekam padi dan serbuk kaca dapat dilakukan pada pembangunan lapisan fondasi atas/bawah *fly over* maupun jembatan. Penggunaan bahan alternatif dari limbah dalam campuran mortar busa menunjukkan potensi dalam meminimalisir ketergantungan terhadap sumber daya yang terbatas dan memberikan solusi yang berkelanjutan dalam industri konstruksi. Untuk itu, perlu dilakukan penelitian dan perkembangan inovasi lebih lanjut untuk mencapai konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan sehingga disarankan melakukan penelitian lebih lanjut dengan penggunaan nilai *slump* yang lebih rendah atau penggunaan komposisi substitusi kaca yang lebih beragam hingga mencapai angka kuat tekan optimum.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan pendanaan penelitian ini dan Laboratorium Uji Tanah dan Uji Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung atas segala bentuk bantuan pada penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakri, (2009). Komponen Kimia Dan Fisik Abu Sekam Padi Sebagai Scm Untuk Pembuatan Komposit Semen. *Perennial*, 5(1), 9. <https://doi.org/10.24259/perennial.v5i1.184>
- Febriansya, A., Iskandar, Amalia, D., Indah, R. N., & Widyarningsih, Y. (2024). Environmental implications of styrofoam waste and its utilization as lightweight fill material for embankment construction. *E3S Web of Conf.*, 479. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447907036>
- Febriansya, A., Somantri, A. K., Iskandar, Mase, L. Z., & Raafidiani, R. (2022). Experimental Study of an Embankment Over a Soft Soil Layer using Clay-Fly Ash-EPS Mixtures as a Lightweight Fill Material. *International Journal of GEOMATE*, 23(98), 39–46.
- Iqbal, R. M., & Hayu, G. A. (2020). Pemanfaatan Abu Sekam Padi 10% Dan Limbah Kaca Sebagai Bahan Substitusi Pada Campuran Beton Mutu $f_c' 25$ MPa. *Sondir*, 4(2), 6–15. <https://doi.org/10.36040/sondir.v4i2.3139>
- Kalsum, F. U., & Wahab, W. (2015). Pelaksanaan Teknologi Mortar Busa Pada Proyek Fly Over Sekip Ujung. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 1(April), 131–136.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). *Spesifikasi Khusus Interim Material Ringan Mortar-Busa*.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2019). *Surat Edaran Nomor : 46/SE/M/2015 Tentang Pedoman Spesifikasi Material Ringan Dengan Mortar Busa Untuk Konstruksi Jalan*.

- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2021). *Surat Edaran Nomor : 44/SE/M/2015 Tentang Pedoman Perancangan Campuran Material Ringan Dengan Mortar Busa Untuk Konstruksi Jalan*.
- Luahambowo, S. A., Bahri, S., & Yusnar, C. (2019). Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi Terhadap Sifat Mekanis Foam Cement Composite. *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri ...*, 3(1), 16–20.
- Pascasari, A., Wahyuni, A. S., Islam, M., Gunawan, A., & Afrizal, Y. (2014). *Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan Mortar*. 13(2), 84–88.
- Prakusya, H., Wicaksono, S. T., & Purbawanto, I. (2019). Pengaruh Komposisi Filler Limbah Polypropylene dan Sekam Padi Terhadap Sifat Fisis dan Mekanik Komposit untuk Aplikasi Papan Semen Partikel. *Jurnal Teknik Its*, 8(2), 98–105.
- Pratama, R., Tamburaka, R. S. E., Mustika, W., & Sulha. (2022). Pengaruh Penambahan Limbah Botol Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus Pada Nilai Kuat Tekan Beton. *Media Konstruksi*, 7(2), 121. <https://doi.org/10.33772/jmk.v7i2.27766>
- Rum, R. H. M., Jaini, Z. M., Boon, K. H., Khairaddin, S. A. A., & Rahman, N. A. (2017). Foamed concrete containing rice husk ash as sand replacement: An experimental study on compressive strength. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 271(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/271/1/012012>
- Siregar, A. M., Sembiring, S., & Marjunus, R. (2020). Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis pada Mortar. *Energy for Sustainable Development: Demand, Supply, Conversion and Management*, 08, 1–14.
- Suhartini, A., Gunarti, A. S. S., & Hasan, A. (2014). *Pengaruh Penambahan Tumbukan Limbah Botol Kaca Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton*.
- Syahril, Somantri, A. K., & Febriansya, A. (2019). The Effect of EPS Addition to Soil Stabilized with Fly Ash as Lightweight Fill Materials for Embankment Construction. *Journal of Physics: Conference Series*, 1364(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1364/1/012077>
- Triastuti, & Nugroho, A. (2017). Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi terhadap Sifat Mekanik Beton Busa Ringan. *Jurnal Teknik Sipil*, 24(2), 139–144. <https://doi.org/10.5614/jts.2017.24.2.4>
- Victor, & Septianti, B. (2019). Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi terhadap Sifat Mekanik High Performance Concrete. *Prosiding SNST Ke-10*, 25–30.
- Zakaria, T. F. (2020). Pengaruh Pengurangan Air Serta Penambahan Admixture AM 78 Dan Serbuk Limbah Kaca terhadap Kuat Tekan Pada Beton Mutu Tinggi. *Jurnal Ekonomi Volume 18, Nomor 1 Maret 201*, 2(1), 41–49.