

Kinerja Mortar dengan Substitusi Abu Sekam Padi sebagai Bahan Pozzolanan

Ummu Kalsum Basman^{1*}, Irma Ridhayani², Sainuddin³, Abdi Manaf⁴, Apriansyah⁵,
Muh Diah Fatur Ulhaq⁶

¹⁻⁵ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat, Indonesia

⁶ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat, Indonesia

Alamat: Jalan Prof Dr Baharuddin Lopa, S.H., Talumung Kabupaten Majene, Sulawesi Barat

Korespondensi penulis: ummukalsumbasman@unsulbar.ac.id

Abstract. Rice husk ash (RHA) is an agricultural waste rich in silica with potential as a partial cement substitute in mortar to support sustainable construction. This study evaluates the effect of varying RHA content on the compressive strength and porosity of mortar at 28 and 240 days of age. Mortar was prepared with RHA substitutions of 0%, 10%, 20%, and 30% by cement weight. Compressive strength was tested according to SK SNI 03-2834-2000, while porosity testing followed ASTM C642 standard. The results showed that 20% RHA substitution provided high compressive strength with acceptable porosity. In contrast, 30% RHA significantly increased porosity and sharply reduced compressive strength. These findings suggest that using RHA in the range of 10–20% can improve material efficiency without compromising mechanical performance. The study supports the development of environmentally friendly construction materials through the optimal use of agricultural waste.

Keywords: Cement substitution, Compressive strength, Mortar, Porosity, Rice husk ash

Abstrak. Abu sekam padi (ASP) merupakan limbah pertanian yang kaya akan silika dan berpotensi sebagai bahan substitusi sebagian semen dalam mortar untuk mendukung konstruksi berkelanjutan. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh variasi kadar ASP terhadap kuat tekan dan porositas mortar pada umur 28 dan 240 hari. Mortar dibuat dengan substitusi ASP sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30% dari berat semen. Pengujian kuat tekan dilakukan berdasarkan SK SNI 03-2834-2000, sedangkan porositas diuji sesuai standar ASTM C642. Hasil menunjukkan bahwa substitusi ASP sebesar 20% menghasilkan kuat tekan tinggi dan nilai porositas yang masih dalam batas aman. Sebaliknya, penggunaan ASP sebesar 30% menyebabkan peningkatan porositas secara signifikan serta penurunan kuat tekan yang tajam. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan ASP dalam kisaran 10–20% dapat meningkatkan efisiensi material tanpa mengorbankan performa mekanik mortar. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan material konstruksi ramah lingkungan melalui pemanfaatan limbah pertanian secara optimal

Kata kunci: Substitusi semen, Kuat tekan, Mortar, Porositas, Abu sekam padi

1. LATAR BELAKANG

Mortar merupakan salah satu material penting dalam dunia konstruksi yang berfungsi sebagai perekat antara batu bata, batu alam, atau blok beton dalam suatu struktur bangunan. Secara umum, mortar tersusun atas campuran agregat halus (pasir), bahan pengikat seperti semen Portland, dan air, dengan komposisi tertentu sesuai standar SNI 03-6825-2002. Selain berfungsi sebagai perekat struktural, mortar juga memiliki peranan penting dalam mengisi celah antar unit bangunan serta memberikan perlindungan terhadap pengaruh lingkungan seperti kelembaban dan perubahan suhu.

Seiring meningkatnya kebutuhan konstruksi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, berbagai inovasi dilakukan untuk meningkatkan performa mortar dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satunya adalah penggunaan bahan

tambah semen (*Supplementary Cementitious Materials/SCMs*), yang berasal dari limbah pertanian atau industri, seperti abu sekam padi (*rice husk ash, RHA*) dan *fly ash*. Pemanfaatan bahan-bahan sisa pembakaran seperti RHA sebagai SCM mampu memberikan kontribusi positif terhadap kekuatan dan keberlanjutan material konstruksi (Patah and Dasar, 2022)(Patah *et al.*, 2024)(Patah *et al.*, 2023)(Noor *et al.*, 2025)(Patah, Dasar and Nurdin, 2025).

Abu sekam padi (RHA) merupakan salah satu limbah pertanian yang memiliki kandungan silika tinggi dan menunjukkan sifat pozzolanik yang sangat baik. RHA dapat digunakan sebagai substitusi sebagian semen dalam beton atau mortar dengan hasil yang kompetitif dalam hal kekuatan dan durabilitas (Bheel *et al.*, 2019)(Patah and Dasar, 2023)(Dasar *et al.*, 2023). Selain itu, RHA tergolong sebagai bahan yang rendah emisi karbon dan hemat energi, sehingga sangat potensial untuk mendukung praktik konstruksi yang ramah lingkungan (Siddika *et al.*, 2021). Penggunaan RHA juga menjadi solusi strategis dalam mengurangi ketergantungan terhadap semen Portland, mengingat proses produksinya menghasilkan emisi CO₂ yang signifikan, yakni sekitar 1 ton CO₂ untuk setiap 1 ton semen yang diproduksi (Singh and Singh, 2019).

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan dan daya tahan mortar/beton dengan menggunakan abu sekam padi sebagai substitusi sebagian semen. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam mengembangkan material konstruksi berkelanjutan dengan memanfaatkan limbah pertanian sebagai alternatif inovatif dan ramah lingkungan.

2. KAJIAN TEORITIS

Mortar

Menurut SNI 03-6825-2002 mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir) bahan perekat (tanah liat, kapur,semen portland) dan air dengan komposisi tertentu. Kuat tekan mortar dipengaruhi oleh jumlah FAS dan perbandingan volume semen dan pasir.Mortar yang digunakan harus dicampur dengan jumlah air yang sesuai agar mendapatkan kualitas yang baik untuk mempermudah pekerjaan. Keleccakan air dalam pekerjaan harus terpenuhi 105%-115% agar penyerapan air dari komponen konstruksi terpenuhi.

Material Penyusun Mortar

a. Semen

Semen portland merupakan sebuah produk yang diperoleh dengan menghancurkan klinker, terdiri dari kalsium silikat hidrolis yang ditambahkan biasanya ke beberapa kalsium sulfat sebagai bahan tambahan antara permukaan tanah. Bahan utama pembentuk semen adalah Kapur (CaO) yang berasal dari batu kapur ; Silika (SiO₂) yang berasal dari lempung alumina (Al₂O₃) yang berasal dari lempung, sedikit magnesium (MgO) dan terkadang sedikit 1 alkali.

b. Agregat Halus

Agregat untuk beton dapat berasal dari pasir alam yang merupakan hasil alami dari batuan-batuan yang mengalami disintegrasi alami atau pasir buatan yang dihasilkan melalui alat pemecah batu, agregat ini memiliki ukuran berkisar antara 0,063 hingga 4,76 mm, termasuk pasir kasar dan pasir halus .

Kuat Tekan

Kuat tekan mortar menurut (SK SNI 03-2834-2000) adalah besarnya beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji mortar hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan mortar ditentukan oleh perbandingan semen, agregat, air dan berbagai campuran lainnya.

3. METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan studi eksperimental laboratorium yang bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan abu sekam padi (ASP) sebagai bahan substitusi sebagian semen Portland dalam campuran mortar terhadap kekuatan tekan dan daya tahan beton. Variasi proporsi abu sekam padi yang digunakan adalah 10%, 20%, dan 30% dari total berat semen.

Material

Jenis semen yang digunakan adalah Semen Portland Komposit (PCC), dengan berat jenis rata-rata sebesar 3,15. ASP digunakan sebagai bahan substitusi Sebagian semen dengan berat jenis 2,68. ASP didatangkan dari Wonomulyo, Sulawesi Barat. Agregat halus yang digunakan berasal dari daerah Mapili, Sulawesi Barat, yang sebelumnya telah

dinyatakan layak digunakan dalam campuran beton Karakteristik agregat halus diperiksa mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI), seperti yang dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Agregat Halus

<i>No</i>	<i>Karakteristik Agregat</i>	<i>Interval</i>	<i>Standar</i>
1	Kadar lumpur	0,2% - 5%	SNI S-04-1989-F, SNI 03-2816-1992
2	Kadar Air	3% - 5%	SNI 03-1971-1990
3	Berat volume: kondisi lepas/padat	1,4% - 1,9 kg/L	SNI M-10-1989-F
4	Berat jenis spesifik: nyata/SSD/dasar kering	1,6 – 3,2	SNI 03-1970-1990

Sumber: Standar Nasional Indonesia (SNI)

Komposisi Campuran

Campuran mortar disusun berdasarkan substitusi ASP terhadap semen sebesar 10%, 20%, dan 30%, dengan tetap mempertahankan volume total campuran. Proporsi campuran untuk kebutuhan 5 liter dapat dilihat pada Tabel 2. Faktor air semen yang digunakan adalah FAS 40%.

Tabel 2. Proporsi Campuran Mortar dengan ASP (5 liter)

<i>AS (%)</i>	<i>Tipe</i>	<i>Air (kg)</i>	<i>Semen PCC (kg)</i>	<i>ASP (kg)</i>	<i>Pasir (kg)</i>
0%	ASP 0	1,160	2,900	-	6,166
10%	ASP 10	1,160	2,610	0,29	6,109
20%	ASP 20	1,160	2,320	0,58	6,052
30%	ASP 30	1,160	2,030	0,87	5,995

Pembuatan Benda Uji

Tahap pertama adalah tahap pencampuran yaitu seluruh material kering dihomogenkan terlebih dahulu, kemudian ditambahkan air secara bertahap hingga tercapai konsistensi yang sesuai. Selanjutnya tahap pencetakan Dimana mortar dicetak dalam cetakan kubus 5x5x5 cm dan disimpan selama 24 jam pada suhu ruang Kemudian dilanjutkan proses perawatan, yaitu setelah dikeluarkan dari cetakan, benda uji direndam dalam air selama 28 dan 240 hari hingga periode pengujian.

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan berdasarkan standar SNI 03-2834-2000, yang mendefinisikan kuat tekan sebagai besarnya beban maksimum per satuan luas penampang yang menyebabkan benda uji mengalami kehancuran. Benda uji yang digunakan berbentuk kubus berukuran 5 × 5 × 5 cm dan diuji menggunakan mesin tekan setelah perawatan selama

28 dan 240 hari. Kuat tekan dihitung menggunakan persamaan (1). Perbandingan air terhadap semen (*water to cement ratio*) menjadi faktor utama yang memengaruhi hasil kuat tekan. Substitusi abu sekam padi diharapkan memodifikasi sifat kimia mortar sehingga memberikan perubahan pada kekuatan mekanik secara signifikan.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana:

$f'c$ = kuat tekan mortar (MPa)

P = beban maksimum yang diterima benda uji (N)

A = luas penampang melintang benda uji (mm²)

Porositas merupakan indikator penting dalam menilai kualitas beton dan mortar, karena berhubungan langsung dengan kekuatan dan ketahanannya terhadap penetrasi zat agresif. Porositas menunjukkan perbandingan antara volume rongga (*void*) terhadap volume total mortar. Semakin tinggi nilai porositas, maka kekuatan tekan cenderung menurun (Patah et al., 2020). Porositas dihitung berdasarkan perbedaan massa dalam tiga kondisi berbeda menggunakan persamaan (2). Pengujian dilakukan setelah benda uji direndam dalam air dan dikeringkan secara bertahap, sesuai prosedur standar pengujian mortar.

$$\text{Porositas} = \frac{B-C}{B-A} \times 100 \quad (2)$$

Dimana:

A = berat sampel dalam air (gram)

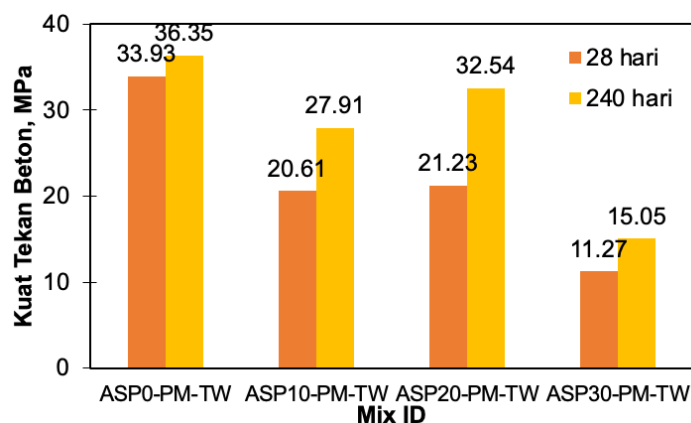
B = berat sampel dalam kondisi jenuh permukaan kering (SSD) (gram)

C = berat sampel kering oven (gram)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat Tekan

Gambar 1 menunjukkan perkembangan nilai kuat tekan mortar dengan variasi abu sekam padi sebagai substitusi sebagian semen Portland. Pengujian dilakukan pada dua periode penting, yaitu umur 28 hari (standar untuk evaluasi awal kekuatan beton) dan 240 hari (umur lanjut yang menilai kontribusi reaktivitas pozzolan jangka panjang).

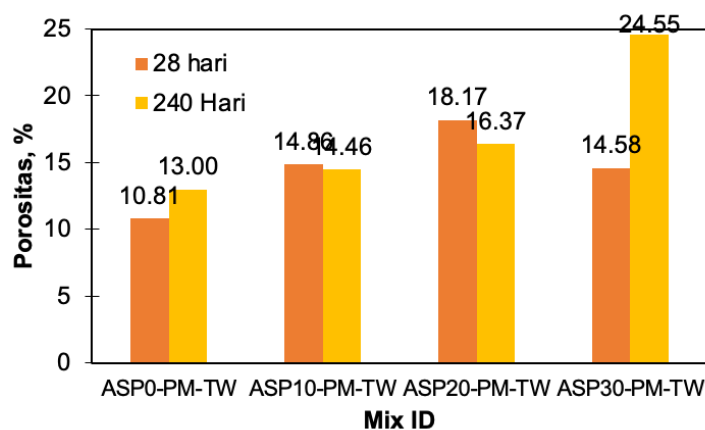


Gambar 1. Kuat Tekan Umur 28 hari dan 240 hari

Pada umur 28 hari, campuran kontrol (ASP0) menunjukkan kekuatan tertinggi sebesar 33,93 MPa, sementara kekuatan menurun signifikan pada variasi ASP30 yang hanya mencapai 11,27 MPa. Namun, pada umur 240 hari, semua variasi menunjukkan peningkatan kekuatan, khususnya ASP20 yang mencapai 32,54 MPa, mendekati nilai kontrol (36,35 MPa). Fenomena ini menunjukkan bahwa reaktivitas pozzolanik dari abu sekam padi tidak langsung aktif seperti semen Portland, namun bereaksi lebih lambat dan stabil seiring waktu. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa abu sekam padi memiliki potensi reaktivitas jangka panjang yang kuat, karena kandungan silika amorfnya berperan dalam pembentukan kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang memperkuat struktur mortar secara bertahap. ASP20-PM-TW menunjukkan performa terbaik pada umur panjang dibandingkan variasi lainnya (Amran *et al.*, 2021)(Siddika *et al.*, 2021). Hal ini sejalan dengan penelitian yang lain yang menyimpulkan bahwa substitusi RHA sebesar 15–25% merupakan rentang optimal untuk mencapai kekuatan tinggi dan peningkatan kerapatan mikrostruktur beton (Singh and Singh, 2019)(Erarslan, 2023). Sementara itu, ASP30 memberikan hasil yang paling rendah, mengindikasikan bahwa substitusi berlebih (>25%) menyebabkan kekurangan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang dibutuhkan untuk reaksi pozzolan, serta penurunan densitas pasta semen (Khan *et al.*, 2015). Kinerja ASP10 juga menarik, karena meskipun awalnya rendah di 28 hari (20,61 MPa), terjadi peningkatan signifikan hingga 27,91 MPa di umur 240 hari. Hal ini mendukung temuan Marangu *et al.* (2024) bahwa pencampuran abu sekam padi meskipun mengurangi kekuatan awal, dapat memperbaiki kekuatan jangka panjang melalui peningkatan densifikasi pori-pori mikro (Marangu *et al.*, 2024).

Porositas

Gambar 2 menampilkan perubahan nilai porositas mortar dengan variasi substitusi abu sekam padi (ASP) terhadap semen Portland pada dua periode pengujian, yaitu umur 28 hari dan 240 hari. Data porositas menunjukkan tren yang beragam tergantung proporsi ASP dalam campuran.



Gambar 2. Porositas Umur 28 hari dan 240 hari

Pada umur 28 hari, campuran kontrol (ASP0) menunjukkan kekuatan tertinggi sebesar 33,93 MPa, sementara kekuatan menurun signifikan pada variasi ASP30 yang hanya mencapai 11,27 MPa. Namun, pada umur 240 hari, semua variasi menunjukkan peningkatan kekuatan, khususnya ASP20 yang mencapai 32,54 MPa, mendekati nilai kontrol (36,35 MPa). Fenomena ini menunjukkan bahwa reaktivitas pozzolanik dari abu sekam padi tidak langsung aktif seperti semen Portland, namun bereaksi lebih lambat dan stabil seiring waktu. Studi lain menunjukkan bahwa abu sekam padi memiliki potensi reaktivitas jangka panjang yang kuat, karena kandungan silika amorfnya berperan dalam pembentukan kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang memperkuat struktur mortar secara bertahap (Saad *et al.*, 2015) (Hu, He and Zhang, 2020). ASP20-PM-TW menunjukkan performa terbaik pada umur panjang dibandingkan variasi lainnya.

Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Mohamad *et al.* (2016) dan Zhang *et al.* (2025) yang menyimpulkan bahwa substitusi RHA sebesar 15–25% merupakan rentang optimal untuk mencapai kekuatan tinggi dan peningkatan kerapatan mikrostruktur beton (Mohamad *et al.*, 2016)(Zhang *et al.*, 2025). Sementara itu, ASP30 memberikan hasil yang paling rendah, mengindikasikan bahwa substitusi berlebih (>25%) menyebabkan kekurangan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang dibutuhkan untuk reaksi pozzolan, serta penurunan densitas pasta semen (Hu, He and Zhang, 2020). Kinerja ASP10 juga menarik, karena meskipun awalnya rendah di 28 hari (20,61 MPa), terjadi peningkatan signifikan hingga

27,91 MPa di umur 240 hari. Hal ini mendukung temuan peneliti lainnya bahwa pencampuran abu sekam padi meskipun mengurangi kekuatan awal, dapat memperbaiki kekuatan jangka panjang melalui peningkatan densifikasi pori-pori mikro (Singh and Singh, 2019).

Analisis Efek ASP terhadap Sifat Mortar

Dari hasil pengujian pada umur 28 dan 240 hari, dapat disimpulkan bahwa penggunaan ASP dengan proporsi 10% dan 20% masih memberikan performa kuat tekan yang kompetitif. ASP20-PM-TW bahkan mencatat nilai 32,54 MPa pada umur 240 hari, mendekati nilai kontrol (36,35 MPa). Hasil ini menunjukkan bahwa reaktivitas pozzolan dari ASP bekerja secara efektif dalam jangka panjang untuk membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H), komponen utama penyumbang kekuatan dalam pasta semen (Capelo, Mármol and Rossignolo, 2023)(Alharthai *et al.*, 2025). Sebaliknya, ASP30 menunjukkan penurunan kuat tekan drastis, terutama karena kelebihan silika dari RHA yang tidak sepenuhnya bereaksi akibat keterbatasan Ca(OH)_2 dalam campuran. Fenomena ini menyebabkan pengurangan produk hidrasi dan pembentukan zona berpori yang lemah di antara butir agregat (Amin *et al.*, 2019). Porositas mortar meningkat secara umum seiring peningkatan kadar ASP, terutama pada umur awal (28 hari). Namun, data menunjukkan bahwa ASP10 dan ASP20 mengalami penurunan porositas setelah umur lanjut (240 hari), masing-masing menjadi 14,46% dan 16,37%, yang menunjukkan adanya peningkatan kepadatan mikrostruktur akibat reaksi pozzolan sekunder (Hu, He and Zhang, 2020). Sebaliknya, ASP30 mengalami peningkatan porositas tajam dari 14,58% (28 hari) menjadi 24,55% (240 hari), menunjukkan degradasi internal karena partikel halus abu sekam padi tidak seluruhnya terikat dalam proses hidrasi (Patah and Dasar, 2022).

Secara umum, terdapat hubungan negatif antara porositas dan kuat tekan. Campuran dengan porositas rendah seperti ASP0 dan ASP20 menunjukkan kekuatan tekan tinggi, sedangkan campuran dengan porositas tinggi seperti ASP30 cenderung memiliki kuat tekan rendah. Hal ini sesuai dengan prinsip bahwa semakin banyak rongga dalam struktur mortar, semakin rendah kemampuan material untuk menahan beban tekan (Zhang *et al.*, 2025). Kepadatan mikrostruktur yang terbentuk oleh C-S-H hasil reaksi pozzolan berperan penting dalam menurunkan porositas dan meningkatkan kekuatan tekan. Oleh karena itu, pemilihan proporsi substitusi ASP menjadi aspek krusial dalam desain mortar berbasis material limbah berkelanjutan.

Hasil penelitian ini memperkuat temuan sebelumnya bahwa substitusi abu sekam padi yang optimal berada pada kisaran 15–20%, di mana terjadi keseimbangan antara reaktivitas kimia, pengisian pori (*filler effect*), dan ketersediaan Ca(OH)_2 sebagai medium reaksi. Penggunaan ASP pada kisaran tersebut tidak hanya mempertahankan performa mekanik, tetapi juga meningkatkan aspek keberlanjutan dalam konstruksi dengan memanfaatkan limbah pertanian.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Substitusi abu sekam padi (ASP) pada mortar menunjukkan bahwa proporsi 10% hingga 20% mampu mempertahankan performa kuat tekan hingga umur lanjut dan menghasilkan porositas yang relatif rendah. ASP20 memberikan hasil paling optimal dengan kekuatan tekan tinggi dan struktur mikro yang padat, sedangkan ASP30 menunjukkan peningkatan porositas secara signifikan dan penurunan kekuatan tekan yang tajam. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan ASP dalam batas optimal dapat diterapkan sebagai alternatif bahan tambah semen yang mendukung efisiensi material dan keberlanjutan konstruksi.

DAFTAR REFERENSI

- Alharthai, M., et al. (2025). Enhancing concrete strength and durability through incorporation of rice husk ash and high recycled aggregate. *Case Studies in Construction Materials*, 22, e04152. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e04152>
- Amin, M. N., et al. (2019). Pozzolanic reactivity and the influence of rice husk ash on early-age autogenous shrinkage of concrete. *Frontiers in Materials*, 6, 150. <https://doi.org/10.3389/fmats.2019.00150>
- Amran, M., et al. (2021). Rice husk ash-based concrete composites: A critical review of their properties and applications. *Crystals*, 11(2), 168. <https://doi.org/10.3390/cryst11020168>
- Bheel, N., et al. (2019). Use of rice husk ash as cementitious material in concrete. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 9(3), 4209–4212. <https://doi.org/10.48084/etasr.2746>
- Capelo, A. R., Mármol, G., & Rossignolo, J. A. (2023). Optimization of the rice husk ash production process for the manufacture of magnesium silicate hydrate cements. *Journal of Cleaner Production*, 425, 138891. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138891>
- Dasar, A., & Patah, D. (2021). Pasir dan kerikil sungai Mappili sebagai material lokal untuk campuran beton di Sulawesi Barat. *Bandar: Journal of Civil Engineering*, 3(2), 9–14.

- Dasar, A., et al. (2023). Perbandingan kinerja bata beton menggunakan abu cangkang sawit, abu sekam padi dan abu serat sagu. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 11(2), 241–248. <https://doi.org/10.32487/jtt.v11i2.1797>
- Erarslan, N. (2023). Investigation of the tensile-shear failure of asphalt concrete base (ACB) construction materials using a non-linear cohesive crack model and critical crack threshold analysis. *Construction and Building Materials*, 364, 129901. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129901>
- Hu, L., He, Z., & Zhang, S. (2020). Sustainable use of rice husk ash in cement-based materials: Environmental evaluation and performance improvement. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121744. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121744>
- Khan, M. N. N., et al. (2015). Utilization of rice husk ash for sustainable construction: A review. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 9(12), 1119–1127. <https://doi.org/10.19026/rjaset.9.2606>
- Marangu, J. M., et al. (2024). Durability of ternary blended concrete incorporating rice husk ash and calcined clay. *Buildings*, 14(5), 1201. <https://doi.org/10.3390/buildings14051201>
- Mohamad, M. E., et al. (2016). A review of the mechanical properties of concrete containing biofillers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 160(1), 012064. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/160/1/012064>
- Noor, N. M., et al. (2025). The effect of utilising coal ash as substitutes for cement and sand on compressive strength and water permeability of concrete. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1453(1), 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1453/1/012006>
- Patah, D., & Dasar, A. (2022). Strength performance of concrete using rice husk ash (RHA) as supplementary cementitious material (SCM). *Journal of the Civil Engineering Forum*, 261–276. <https://doi.org/10.22146/jcef.3488>
- Patah, D., & Dasar, A. (2023). The impact of using rice husks ash, seawater and sea sand on corrosion of reinforcing bars in concrete. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 251–262. <https://doi.org/10.22146/jcef.6016>
- Patah, D., Dasar, A., & Nurdin, A. (2025). Sustainable concrete using seawater, sea-sand, and ultrafine palm oil fuel ash: Mechanical properties and durability. *Case Studies in Construction Materials*, 22, e04129. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e04129>
- Patah, D., et al. (2023). Strength development of seawater mixed and cured concrete with various replacement ratios of fly ash. *Materials Science Forum*, 1091, 111–118. <https://doi.org/10.4028/p-1ckry6>
- Patah, D., et al. (2024). The impact of fly ash and sea sand on strength and durability of concrete. *Key Engineering Materials*, 1000, 23–33. <https://doi.org/10.4028/p-o0WA24>
- Saad, S. A., et al. (2015). Pozzolanic reaction mechanism of rice husk ash in concrete – A review. *Applied Mechanics and Materials*, 773–774, 1143–1147. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.773-774.1143>

- Siddika, A., et al. (2021). State-of-the-art-review on rice husk ash: A supplementary cementitious material in concrete. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 33(5), 294–307. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.10.006>
- Singh, R. R., & Singh, D. (2019). Effect of rice husk ash on compressive strength of concrete. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 223–226. <https://doi.org/10.18178/ijscer.8.3.223-226>
- Zhang, J. X., et al. (2025). The effect of adding rice husk ash (RHA) and calcined shell powder (CSP) on the properties of cement mortar. *Case Studies in Construction Materials*, 22, e04426. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04426>