

Analisis Pemanfaatan Abu Sekam Padi dan Tempurung Kelapa untuk Bahan Beton Terhadap Sifat Struktural

Ismi Purnamasari¹, Kukun Rusyandi, Ida Farida

Teknik Sipil Institut Teknologi Garut

¹email ismi.purnamasari@itg.ac.id

ABSTRACT

Concrete is a construction material that was widely used in various structural elements of buildings. Concrete formed from a paste made of cement, coarse and fine aggregate mixed with water. Each coarse and fine aggregate has a different molecular arrangement or micro structure that will determine the process of its formation . The needs for concrete constituent materials is very high, so that there is an innovation to use substitute materials for concrete with other materials, such as rice husk ash and coconut shell waste. Utilization of agricultural waste using rice husk ash and coconut shell which will become silica is an effort to reduce the impact of environmental damage. Therefore, rice husk ash is an agricultural-based product that can be used as a cement additive without reducing its strength and durability. In this study, a research was conducted on the analysis of the combined substitution between rice husk ash and coconut shell on the structural properties and composition of concrete. Rice husk ash in normal size can be used for fine aggregate, and coconut shell flakes as coarse aggregate. Variations of concrete mix are 15%, 20% and 25%. As a substitute for concrete, the material was characterized using the modern equipment available, namely X-ray Fluorescence (XRF) and X-ray Diffraction (XRD). The results of XRD and XRF on the two substitution materials showed that the highest concentration was SiO₂. Rice husk ash has an SiO₂ of 85.65%, while in coconut shell it is 23.79%. Then a method of mixing all the ingredients to be made into concrete was tested mechanically to determine the compressive strength Furthermore, the XRD results of the concrete showed that there were amorphous and crystalline silica phases. The XRF results of the concrete material show that the Silica element is still present in the concrete which indicates it will strengthen the concrete structure. So in this study, rice husk ash and coconut shell ash can be used as a substitute for concrete

Keywords: rice husk ash, coconut shell, concrete, structural properties

ABSTRAK

Beton merupakan bahan konstruksi yang banyak digunakan dalam berbagai elemen struktur bangunan. Beton dibentuk dari pasta yang terbuat dari semen, agregat kasar dan halus yang dicampur dengan air. Setiap agregat kasar dan halus memiliki susunan molekul atau struktur mikro yang berbeda yang akan menentukan proses pembentukannya. Kebutuhan bahan penyusun beton sangat tinggi, sehingga ada inovasi untuk menggunakan bahan pengganti beton dengan bahan lain, seperti abu sekam padi dan limbah tempurung kelapa. Pemanfaatan limbah pertanian menggunakan abu sekam padi dan tempurung kelapa yang akan menjadi silika merupakan salah satu upaya untuk mengurangi dampak kerusakan lingkungan. Oleh karena itu, abu sekam padi merupakan produk berbasis pertanian yang dapat digunakan sebagai bahan tambahan semen tanpa mengurangi kekuatan dan daya tahannya. Pada penelitian ini dilakukan penelitian mengenai analisis substitusi gabungan antara abu sekam padi dan tempurung kelapa terhadap sifat struktur dan komposisi beton. Abu sekam padi ukuran normal dapat digunakan untuk agregat halus, dan serpihan tempurung kelapa sebagai agregat kasar. Variasi campuran beton adalah 15%, 20% dan 25%. Sebagai pengganti beton, material tersebut dikarakterisasi menggunakan peralatan modern yang tersedia yaitu X-ray Fluorescence (XRF) dan X-ray Diffraction

(XRD). Hasil XRD dan XRF pada kedua bahan substitusi menunjukkan konsentrasi tertinggi adalah SiO₂. Abu sekam padi memiliki SiO₂ sebesar 85,65%, sedangkan pada tempurung kelapa sebesar 23,79%. Kemudian metode pencampuran semua bahan yang akan dibuat menjadi beton diuji secara mekanik untuk mengetahui kuat tekan. Selanjutnya hasil XRD beton menunjukkan adanya fasa silika amorf dan kristal. Hasil XRF material beton menunjukkan masih adanya unsur Silica pada beton yang mengindikasikan akan memperkuat struktur beton. Sehingga dalam penelitian ini abu sekam padi dan abu tempurung kelapa dapat digunakan sebagai pengganti beton.

Kata Kunci: Abu Sekam Padi, Tempurung Kelapa, Beton, Sifat struktur

1. PENDAHULUAN

Perkembangan di bidang konstruksi bangunan mengalami kemajuan yang sangat pesat pada era ini seperti perkembangan teknologi beton. Beton melibatkan bahan campuran seperti semen, air dan agregat yang merupakan bagian terpenting [1]–[3]. Beton sering digunakan karena memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan bahan lain, seperti harga relatif ekonomis dalam pembuatan dan pemeliharaan, kuat tekan yang baik, daya tahan, ketersediaan bahan baku yang mudah, tahan terhadap api dan tidak lapuk. Namun, beton juga memiliki beberapa kelemahan seperti kekuatan tarik yang lebih rendah daripada struktur baja, rasio kekuatan terhadap berat yang kecil, daktilitas yang rendah, mudah retak dan dampaknya terhadap lingkungan akibat emisi karbon yang tinggi dalam proses produksi semen memberikan kontribusi sebesar 9,5% terhadap emisi CO₂ secara global [4]. Pemanfaatan bahan alam dalam bidang konstruksi akan mampu menjaga kelestarian lingkungan. Bahan alam ini dapat digunakan sebagai pengganti semen, diketahui bahwa produksi semen dapat menyebabkan emisi gas rumah kaca dan produksi gas CO₂ ketika semen terhidrasi [5].

Abu sekam padi yang merupakan produk alami yang dapat digunakan untuk produksi beton tidak hanya dianggap sebagai bahan konstruksi yang ramah lingkungan, tetapi juga bermanfaat untuk mengurangi kandungan produksi semen. Dengan demikian, penggunaan sekam padi dalam beton secara besar-besaran akan membantu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dari berbagai aktivitas yang terjadi di sektor konstruksi dengan cara menurunkan laju produksi semen. Beberapa penelitian dari Zain et al. (2011), Ferraro dkk. (2012), Yuzer dkk. (2013), Van et al. (2013), Zebino dkk. (2014), Swaminathan et al. (2016) telah menunjukkan manfaat penggunaan abu sekam sebagai campuran beton dari segi sosial ekonomi, lingkungan dan telah menunjukkan bahwa abu sekam padi dapat memberikan manfaat yang besar pada kinerja beton [6]–[11]. Dalam sifat dan perilakunya, penelitian Van Tuan et al. (2011) juga menunjukkan kualitas bahan konstruksi yang dipengaruhi oleh pori-pori dan luas permukaan abu sekam padi [12]. Hasil uji SEM pada penelitian Foong et al. (2015) menunjukkan bahwa silika yang dihasilkan memiliki luas permukaan yang baik dan bersifat amorf [13]. Selain abu sekam padi,

tempurung kelapa juga merupakan produk agro yang dapat digunakan sebagai bahan bangunan beton. Tempurung kelapa merupakan lapisan keras yang terdiri dari lignin dan selulosa yang memiliki kadar air rendah. Struktur tempurung kelapa yang keras disebabkan oleh silikat (SiO_2) yang cukup tinggi, bentuk tempurung kelapa memiliki lapisan yang keras dan tekstur permukaan yang kasar sehingga daya rekat dengan pasta semen akan lebih kuat. Oleh karena itu tempurung kelapa dapat menjadi salah satu alternatif pembuatan campuran beton, sehingga dapat mengurangi penggunaan kerikil yang harganya relatif mahal [14].

Dari uraian di atas belum banyak yang menyelidiki struktur dan morfologi bahan. Oleh karena itu peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan menggabungkan tempurung kelapa sebagai penambahan agregat kasar dan abu sekam padi sebagai penambahan agregat halus dalam pembuatan beton untuk melihat bagaimana struktur dan morfologi material. Variasi campuran substitusi yang direncanakan adalah 15%, 20% dan 25%. Kemudian material akan dikarakterisasi menggunakan X-ray Fluorescence (XRF), X-ray Diffraction (XRD) yang akan dianalisis menggunakan Highscore, untuk melihat unsur penyusun dan fase kristalnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada dunia konstruksi, SNI 2874:2013 beton merupakan campuran dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (portland cement), agregat kasar, agregat halus, dan air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah (admixture atau additive). Beton sangat mudah diaduk, disalurkan, dicor, dipadatkan dan diselesaikan, tanpa menimbulkan pemisahan bahan susunan pada adukan dan mutu beton yang disyaratkan oleh konstruksi tetap dipenuhi (Daryanto, 1994). Beton memiliki beberapa keuntungan seperti kemudahan dalam penggerjaan, kuat tekan yang tinggi, memiliki nilai ekonomis dalam pembuatan dan perawatan. Beton juga memiliki beberapa kekurangan seperti kuat tarik yang lebih kecil dibandingkan struktur baja, kecilnya rasio kekuatan terhadap beratnya, daktilitas rendah, rentan terhadap retak dan dampaknya terhadap lingkungan sebagai akibat dari tingginya emisi karbon dalam proses produksi semen, yang memiliki kontribusi sebesar 9.5% terhadap emisi karbondioksida global (Oliver et al, 2014).

Sifat beton yang paling penting adalah sifat mekaniknya yaitu sifat kekuatan tekan, kekuatan lentur, dan kekuatan tarik. Sifat beton dapat berubah karena dari sifat bahan penyusun beton. Bahan penyusunan beton hasil dari pencampuran semen, air, dan agregat. Ditambahkan bahan tambah dengan perbandingan tertentu, mulai dari bahan kimia tambahan, fiber, sampai bahan buangan non kimia (Tjokrodimuljo, 1996).

Beton pada dasarnya adalah campuran yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus yang dicampur dengan air dan semen sebagai pengikat dan pengisi antara agregat kasar dan agregat halus serta kadang-kadang ditambahkan additive

(Kardiono Tjokrodimuljo, 2004). Pengertian beton menurut SK-SNI 03-2847-2000 didefinisikan sebagai campuran antara semen portland/semen hidrolik yang lain, agregat kaar (split), agregat halus, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Beton memiliki sifat utama, yaitu relatif kuat menahan beban tekan, namun lemah terhadap beban tarik. Nilai kuat tarik beton hanya berkisar 9% - 15% dari kuat tekannya. (Tjokrodimuljo, 2004)

Bahan Tambahan Beton

a. Semen Portland

Semen portland didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan, yang digiling bersama-sama bahan utamanya. Bahan utama penyusun semen adalah kapur, silica, dan alumina.

b. Agregat Halus

Agregat halus merupakan agregat isi yang berupa pasir alam hasil disintegrasi alami dari batu-batuhan (natural sand) atau berupa pasir buatan yang dihasilkan dari alat-alat pemecah batuan (artificial sand) dengan ukuran kecil (0,15-5 mm). Agregat halus yang baik harus bebas bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No. 200, atau bahan-bahan lain yang dapat merusak beton.

c. Agregat Kasar

Agregat kasar didefinisikan sebagai butiran yang tertahan saringan 4,75 mm. Agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek perusak lainnya. Agregat kasar harus bersih dari bahan-bahan organik dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel semen. Agregat kasar sebagai bahan campuran untuk membentuk beton dapat berupa kerikil atau batu pecah.

d. Air

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimia dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah penggerjaannya, umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton.

e. Tempurung Kelapa

Tempurung merupakan lapisan keras yang terdiri dari lignin, selulosa, metoksil dan berbagai mineral. Kandungan bahan-bahan tersebut beragam sesuai dengan jenis kelapanya. Struktur yang keras disebabkan oleh silikat (SiO_2) yang cukup tinggi kadarnya pada tempurung. Berat tempurung sekitar 15~19 % dari berat keseluruhan buah kelapa.

f. Abu Sekam Padi

Abu sekam padi adalah bagian terluar dari butir padi. Sekam padi merupakan produk samping yang melimpah dalam proses penggilingan padi, yaitu sekitar 20% dari bobot gabah. Sekam padi terdiri dari senyawa organik dan senyawa anorganik. Komposisi senyawa organik dalam sekam padi terdiri atas protein, lemak, serat, pentosa, selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Sedangkan komposisi senyawa anorganik biasanya terdapat dalam abunya.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan uji eksperimen pada pengujian struktur beton dengan substitusi abu sekam padi dan abu tempurung kelapa. Pertama, bahan campuran beton diuji untuk mengetahui apakah campuran tersebut layak digunakan sebagai campuran beton. Bahan substitusi juga diuji menggunakan karakterisasi XRD dan XRF untuk mengetahui struktur bahan, fasa kristal, dan komposisi unsur. Kemudian membuat design mix $f'c$ 20 MPa untuk mendapatkan nilai mutu beton $f'c$ 20 MPa. Selanjutnya abu sekam padi dan abu tempurung kelapa dicampur dengan bahan beton lainnya menggunakan beberapa campuran konsentrasi 3 sampel, dengan konsentrasi 15%, 20% dan 0,25%. Setelah pencampuran sesuai rencana, dilakukan treatment selama 7 hari dan setelah itu sampel beton diuji. durabilitas dengan menggunakan Universal Testing Machine, semua sampel diuji dengan kapasitas alat uji K-700. Material beton yang telah diuji keawetannya kemudian dikarakterisasi sifat strukturnya menggunakan X-Ray Diffraction (XRD), dan X-Ray Fluorescence (XRF). Identifikasi fasa menggunakan XRD merek X'Pert PRO Panalytical dengan sumber radiasi Cu $K\alpha$ ($\lambda=1.5418\text{\AA}$) pada rentang sudut $20^\circ \leq 2\theta \leq 80^\circ$ dengan step 0.02o. Spektrum XRD dianalisis menggunakan aplikasi Highscore plus untuk mendapatkan struktur kristal. Konsentrasi kimia dan unsur yang terkandung dalam sampel dikarakterisasi menggunakan XRF merek Epsilon 1: Panalytic

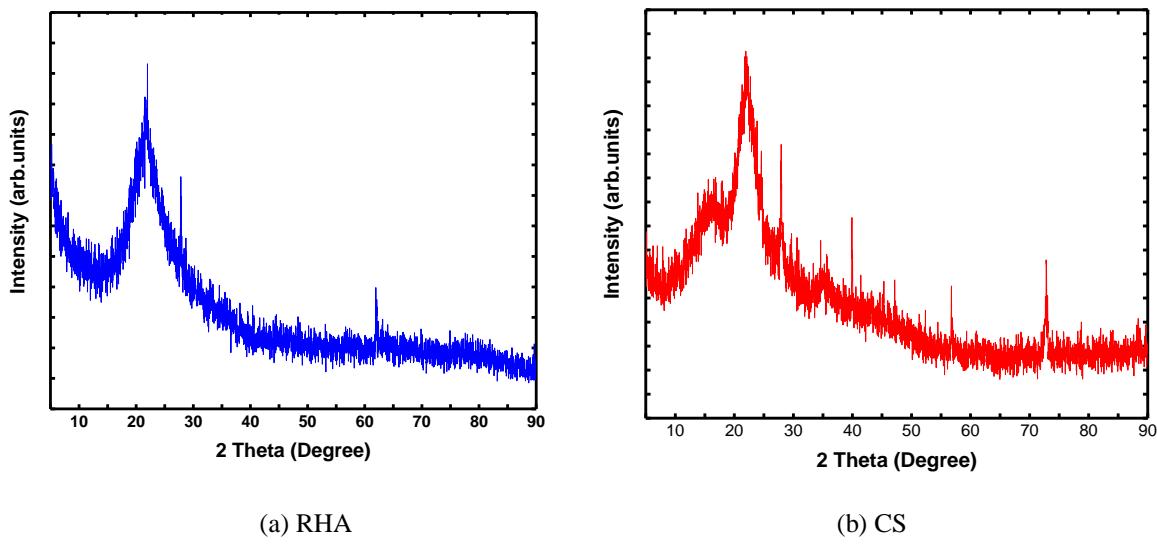
4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

X-Ray Diffraction

Hasil Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD) dianalisis secara kualitatif menggunakan aplikasi Highscore.

a. Abu sekam (RHA) dan Tempurung Kelapa (CS)

Abu Sekam Padi dan Batok Kelapa. Sebagai pengganti beton telah dilakukan pengujian abu sekam padi (RHA) dan tempurung kelapa (PK) menggunakan XRD untuk mengetahui sifat strukturalnya. Pada Gambar 3.1a menunjukkan difraktogram XRD RHA pada suhu kamar menunjukkan struktur amorf yang ditunjukkan dengan munculnya pita lebar difus tunggal pada kisaran $15-30^\circ$ yang merupakan karakteristik silika amorf (SiO_2). Pada Gambar 1b diamati bahwa posisi puncak yang sesuai dengan SiO_2 bergeser ke sudut yang lebih rendah. Temuan ini menunjukkan bahwa struktur melebar dan densifikasi struktur amorf lebih kecil dibandingkan dengan RHA.



(a) RHA

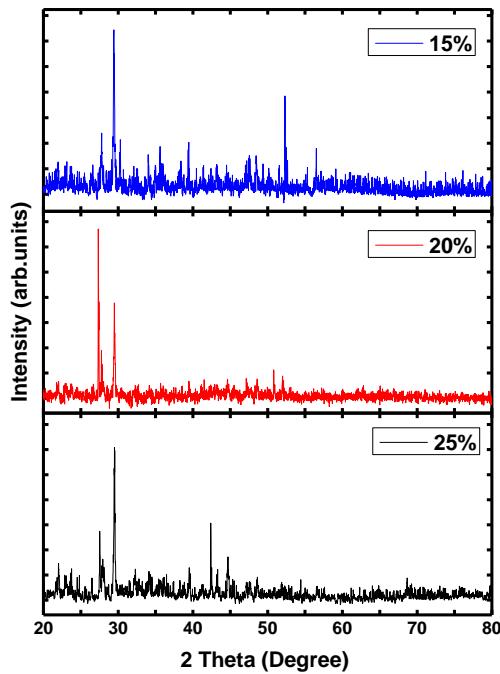
(b) CS

Gambar 1. XRD Pattern of RHA and CS

Dari gambar uji XRD (Gambar 1) menunjukkan ada tidaknya partikel kristal silika yang terkandung dalam abu sekam dapat dilihat pada puncak tertinggi yang menandakan adanya kristal silika. Kristal silika dapat meningkatkan kuat tekan karena abu sekam padi bersifat pozzolan [15]–[17]. Sehingga, pada terlihat bahwa pada tempurung kelapa (CS) memiliki tinggak silika yang lebih tinggi.

b. Beton

Setelah sampel beton terbentuk, selanjutnya beton diubah menjadi serbuk untuk dapat diuji sifat strukturnya. Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa puncak pola XRD menunjukkan unsur-unsur dalam beton.


Gambar 2. XRD Pattern of concrete.

Pemeriksaan difraktogram dari sampel beton menunjukkan bahwa perilaku RHA dan CS dalam struktur beton sedikit berbeda dengan perawan prekursor. Difraktogram sampel beton pada suhu kamar menunjukkan adanya fase silika amorf dan kristal. Pengamatan ini menunjukkan bahwa sifat RHA dalam beton tetap sama. Puncak silika dapat dilihat pada kisaran 200-300. Puncak lainnya ditunjukkan oleh kalsium yang nantinya akan memperkuat struktur beton dengan silika [18].

X-Ray Flourescence (XRF)

a. Abu sekam padi (RHA) dan Tempurung Kelapa

XRF menguji bahan substitusi pada beton untuk mengetahui kandungan kimiawi beton. Tabel 1 menunjukkan beberapa unsur yang berhasil diuji menggunakan XRF yaitu Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Fe, Zn, Ag. RHA dan CS memiliki unsur yang hampir sama pada isinya, namun pada CS terdapat unsur Ti dan Zn yang tidak terdapat pada RHA. Unsur dalam CS tertinggi adalah SiO₂ meskipun lebih rendah dari RHA. Namun, CS adalah bahan yang keras karena mengandung persentase silikon oksida yang tinggi dan oksida besi diakui sebagai salah satu bahan terkuat sedangkan dua sampel lainnya, meskipun RHA memiliki kandungan silikon oksida yang tinggi, namun RHA masih lebih lemah dari CS. karena kandungan oksida besi yang rendah. Hal ini juga seperti penelitian yang dilakukan oleh Ting et al yang menunjukkan SiO₂ pada RHA lebih besar dibandingkan pada CS. [19]

Tabel 1 Analisis XRF Abu Sekam Padi dan Tempurung Kelapa

Element of RHA	Concentration	Unit	Element of CS	Concentratio n	Uni t
Al₂O₃	1,35	%	Al₂O₃	6,16	%
SiO₂	85,65	%	SiO₂	23,79	%
P₂O₅	2,63	%	P₂O₅	2,17	%
SO₃	0,82	%	SO₃	1,90	%
Cl	0,61	%	Cl	3,47	%
K₂O	4,86	%	K₂O	14,00	%
CaO	1,95	%	CaO	19,06	%
Fe₂O₃	2,03	%	TiO₂	1,31	%
Ag₂O	0,11	%	Fe₂O₃	22,64	%
Sumber : Hasil Analisa					

b. Beton

Beton yang terbentuk kemudian dijadikan bubuk untuk uji XRF untuk mengetahui komposisi yang terkandung dalam beton. Pada tabel 2, analisis XRF menunjukkan 9 unsur yang terdiri dari Al, Si, S, Cl, K, Ca, Ti, Fe, Ag. Unsur-unsur tersebut juga terdapat pada bahan substitusi yaitu RHA dan SC. Ada beberapa unsur yang hilang pada RHA dan SC selama proses pembuatan beton yaitu P dan Zn karena bahan tersebut merupakan pengotor utama pada RHA dan SC.

Table 2. XRF analysis untuk Beton

Element	Concentration		
	Substitution 15%	Substitution 20%	Substitution 25%
Al ₂ O ₃	3,09%	3,91%	3,66%
SiO ₂	14,75%	13,89%	13,45%
SO ₃	1,23%	1,19%	1,21%
Cl	0,29%	0,30%	0,27%
K ₂ O	0,58%	0,49%	0,40%
CaO	64,16%	60,06%	63,98%
TiO ₂	1,16%	1,45%	1,25%
Fe ₂ O ₃	14,28%	18,16%	15,37%
Ag ₂ O	0,45%	0,55%	0,41%

Sumber : Hasil Analisa

Dari hasil uji XRF pada tabel 2. Terlihat bahwa nilai Silicon menurun ketika substitusi RHA dan CS meningkat. Dari adanya bahan silikon dan karbon pada hasil pengujian menunjukkan bahwa RHA dan CS masuk ke dalam campuran beton. Konsentrasi tertinggi pada ketiga sampel adalah Karbon dengan konsentrasi masing-masing 64,16%, 60,06% dan 63,98% dari substitusi terkecil.

5. KESIMPULAN

Karakterisasi XRD dan XRF dalam penelitian ini telah diselidiki. RHA dan CS hampir memiliki struktur dan elemen yang sama. Pada kedua bahan tersebut, konsentrasi tertinggi ditemukan pada SiO₂. Beton dengan substitusi RHA dan CS 15%, 20% dan 25% telah berhasil dibentuk. Karakterisasi XRD dan XRF beton telah diidentifikasi. Difraktogram sampel beton pada suhu kamar menunjukkan adanya fase silika amorf dan kristal. Dari silika tersebut, dimungkinkan untuk mengubah RHA dan CS menjadi bahan bermanfaat yang ramah lingkungan dan berkontribusi pada bidang konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Arman, "Effect of Mud Content in Mixed Concrete to Compressive Strength of Normal Concrete," pp. 624–626, 2016, doi: 10.21063/ictis.2016.1063.
Mardiaman, "Effect of Stone Ash Mixture and Coconut Fiber on Concreate Compressive Strength," vol. 6, no. 4, pp. 462–471, 2020, doi:

- 10.15341/mese(2333-2581)/04.06.2020/005.
- A. Santhiya, N. Sakthieswaran, G. S. Brintha, O. G. Babu, and A. General, "A Review of Experimental Investigation on Coconut Shell as Replacement on Concrete as," vol. 4, no. V, pp. 2014–2016, 2016.
- Janizar, S., Habdullah, H., Setiawan, F., & Schipper, L. A. (2022). PERENCANAAN JEMBATAN CABLE STAYED 200 METER (Studi Kasus: Jembatan Cijambe Garut). *JURNAL TEKNIK SIPIL CENDEKIA (JTSC)*, 3(1), 284-301.
- Janizar, S., Setiawan, F., & Saputra, D. H. (2020). Audit Struktur Gedung Bank X Kota Banjarmasin. *JURNAL TEKNIK SIPIL CENDEKIA (JTSC)*, 1(1), 15-26.
- Janizar, S., Setiawan, F., & Kurniawan, E. (2020). Pemeriksaan Kelaikan Fungsi Bangunan Gedung Rumah Sakit. *Jurnal Teknik Sipil Cendekia (JTSC)*, 1(1), 58-67.
- Janizar, S., & Kurniawan, E. (2021). APRAISAL PENILAIAN HARGA SEWA GEDUNG (Studi Kasus Kantor Cabang Instansi di Kota Cimahi). *JURNAL TEKNIK SIPIL CENDEKIA (JTSC)*, 2(1), 68-81.
- Janizar, S., & Abdullah, F. H. (2023). EFISIENSI WAKTU DAN BIAYA DALAM PENGGUNAAN ALAT BERAT PADA PEKERJAAN PEMELIHARAAN OVERLAY RUAS TOL CIPULARANG JALUR A. *JURNAL TEKNIK SIPIL CENDEKIA (JTSC)*, 4(1), 450-463.
- J. Oliver, M. Muntean, G. Janssens-Maenhout, and J. Peters, "Trends in Global CO₂ Emissions: 2015 report," no. November, 2015.
- B. S. Thomas, "Green concrete partially comprised of rice husk ash as a supplementary cementitious material – A comprehensive review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, no. October, pp. 3913–3923, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.10.081.
- M. F. M. Zain, M. N. Islam, F. Mahmud, and M. Jamil, "Production of rice husk ash for use in concrete as a supplementary cementitious material," *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, no. 2, pp. 798–805, 2011, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.07.003.
- R. M. Ferraro and A. Nanni, "Effect of off-white rice husk ash on strength, porosity, conductivity and corrosion resistance of white concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 31, pp. 220–225, 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.12.010.
- N. Yuzer *et al.*, "Influence of raw rice husk addition on structure and properties of concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 44, pp. 54–62, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.02.070.
- V. T. A. Van, C. Rößler, D. D. Bui, and H. M. Ludwig, "Mesoporous structure and pozzolanic reactivity of rice husk ash in cementitious system," *Constr. Build. Mater.*, vol. 43, pp. 208–216, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.02.004.
- R. Zerbino, G. Giaccio, and S. Marfil, "Evaluation of alkali-silica reaction in concretes with natural rice husk ash using optical microscopy," *Constr. Build. Mater.*, vol. 71, pp. 132–140, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.08.022.
- A. N. Swaminathan and S. R. Ravi, "Strength Characteristics of Concrete with Indian Mettakaolin and Rice Husk Ash," *J. Adv. Chem.*, vol. 13, no. 3, pp. 6140–6150, 2017, doi: 10.24297/jac.v13i0.5610.

- N. Van Tuan, G. Ye, K. Van Breugel, and O. Copuroglu, "Hydration and microstructure of ultra high performance concrete incorporating rice husk ash," *Cem. Concr. Res.*, vol. 41, no. 11, pp. 1104–1111, 2011, doi: 10.1016/j.cemconres.2011.06.009.
- K. Y. Foong, U. J. Alengaram, M. Z. Jumaat, and K. H. Mo, "Enhancement of the mechanical properties of lightweight oil palm shell concrete using rice husk ash and manufactured sand," *J. Zhejiang Univ. Sci. A*, vol. 16, no. 1, pp. 59–69, 2015, doi: 10.1631/jzus.A1400175.
- M. Emi, "Pengaruh Tempurung Kelapa Sebagai Substitusi Agregat Kasar Dengan Penggunaan Pasir Besi Terhadap Kuat Tarik Belah Beton," *Teras J.*, vol. 8, no. 2, p. 409, 2019, doi: 10.29103/tj.v8i2.152.
- N. Das Bheel and S. A. Mangi, "Coconut Shell Ash as Cementitious Material in Concrete : A Review Coconut Shell Ash as Cementitious Material in Concrete : A Review," vol. 33, no. March, 2021, doi: 10.17576/jkukm-2020-33(1)-03.
- C. Fapohunda, B. Akinbile, and A. Shittu, "Structure and properties of mortar and concrete with rice husk ash as partial replacement of ordinary Portland cement – A review," *Int. J. Sustain. Built Environ.*, vol. 6, no. 2, pp. 675–692, 2017, doi: 10.1016/j.ijsbe.2017.07.004.
- G. Abood Habeeb and H. Bin Mahmud, "Study on Properties of Rice Husk Ash and Its Use as Cement Replacement Material," *Mater. Res.*, vol. 13, no. 2, pp. 185–190, 2010.
- R. P. Jaya *et al.*, "Physical and chemical properties of cement with nano black rice husk ash," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2151, no. September, 2019, doi: 10.1063/1.5124654.
- T. L. Ting, R. P. Jaya, N. A. Hassan, H. Yaacob, D. S. Jayanti, and M. A. M. Ariffin, "A review of chemical and physical properties of coconut shell in asphalt mixture," *J. Teknol.*, vol. 78, no. 4, pp. 85–89, 2016, doi: 10.11113/jt.v78.8002.