

# Comparison addition of rice husk ash and roof tile ash on fly ash-based geopolymer cement with portland cement

## Comparación de la adición de cenizas de cascarilla de arroz y cenizas de tejas a cemento de geopolímero a base de cenizas volantes con cemento Portland

D. Nurtanto <sup>1\*</sup>, I. Junaidi \*, W. Wahyuningtyas \*, W. Yunarni \*

\* Universitas Jember – Jember, INDONESIA

Fecha de Recepción: 20/04/2020

Fecha de Aceptación: 22/10/2020

PAG 287-294

### Abstract

*The use of Portland cement is considered a very good material for making concrete. This is because many are found in building shops and it's high performance in making concrete. Research on alternative Portland cement is a worldwide priority for reducing CO emissions to the atmosphere. Alternative Portland cement is a material containing aluminosilicate which is dissolved with an alkaline solution to produce strong pozzolanic properties and replace the function of Portland cement. Natural aluminosilicates can be found in agricultural and industrial wastes. For example fly ash (FA), roof tile ash (RTA), rice husk ash (RHA), sugar cane bagasse ash (SCBA). This method estimates the development of mechanical properties of concrete with alternative portland cement with concrete with portland cement throughout the treatment process. The mechanical properties that will be seen are setting time and compressive strength. Alternative Portland cement uses the basic ingredients of fly ash aluminosilicate with an alkaline activator solution (NaOH, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) of 12 Molar. This study is based on experimental studies by replacing FA by 5% and 10% with RHA and RTA where the development of several mechanical properties will be investigated. The results show that several alternative portland cement mixes have similar mechanical properties to portland cement.*

**Keywords:** Fly Ash; Rice Husk Ash; Roof Tile Ash; Setting Time; Compressive Strength

### Resumen

El cemento Portland se considera un excelente material para la fabricación de hormigón. Por su alto rendimiento en esta elaboración se encuentra mucho en tiendas de construcción. La investigación acerca de cementos Portland alternativos tiene prioridad a nivel mundial para reducir las emisiones de CO a la atmósfera. El cemento Portland alternativo es un material que contiene aluminosilicatos disueltos en una solución alcalina para producir propiedades pozzolánicas suficientemente sólidas que reemplacen la función del cemento Portland. Los aluminosilicatos naturales se pueden encontrar en desechos agrícolas e industriales. Por ejemplo, en cenizas volantes (CV), cenizas de tejas (CT), cenizas de cascarilla de arroz (CCAr), cenizas de caña de azúcar (CCAZ). Este método compara el desarrollo de propiedades mecánicas del concreto con cemento Portland alternativo con las del concreto con cemento Portland normal, durante todo el proceso de su empleo. Las propiedades mecánicas que se revisarán son el tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión. El cemento Portland alternativo utiliza una base de aluminosilicato de cenizas volantes con una solución alcalina activadora (NaOH, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) 12 molar. Este estudio se basa en ensayos experimentales de reemplazo de CV al 5% y 10% con CCAr y CT, en los que se investigó el desarrollo de varias propiedades mecánicas. Los resultados muestran que varias mezclas alternativas de cemento Portland tienen propiedades mecánicas similares al cemento Portland normal.

**Palabras clave:** Cenizas volantes; cenizas de cáscara de arroz; cenizas de azulejos; gestión del tiempo; resistencia a la compresión

## 1. Introducción

El cemento es uno de los principales ingredientes del hormigón, sirviendo como aglutinante con agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin materiales adicionales en la mezcla. El mayor uso del cemento se puede apreciar en base a las necesidades anuales crecientes de hormigón, con un impacto ciertamente adverso sobre el medio ambiente, debido a que el CO<sub>2</sub> generado por la industria del cemento, al calentarse el carbonato de calcio para producir cal, se emite a la atmósfera (Amran et al., 2020)(Stafford et al., 2015).

La industria del cemento contribuye a la polución del aire y es causante de otras formas de polución ambiental, uno de cuyos impactos potenciales es el efecto invernadero que puede aumentar el calentamiento global (Reza et al., 2013)(Hasanbeigi et al., 2012). Por esta razón, se requiere desarrollar el uso de cementos Portland alternativos para cubrir las nuevas necesidades, de manera que se reduzcan las emisiones de gases invernadero en el proceso de la producción de cemento y se aumente la eficiencia energética. Entre estos materiales alternativos se cuentan algunos que pueden contener elementos de sílice (Si) y alúmina (Al) (Torres-Carrasco y Puertas, 2017), siendo ambos materiales naturales (arcilla) (Chen et al., 2016)(Yanguatin et al., 2017) o

<sup>1</sup> Autor de correspondencia:

Universitas Jember – Jember, INDONESIA

E-mail: dwinurtanto.teknik@unej.ac.id



desechos industriales, tales como cenizas volantes (Yacob et al., 2019)(Gülsan et al., 2019)(Pavithra et al., 2016)(Pasupathy et al., 2017)(Muhammad et al., 2019), cenizas de cascarilla de arroz (Nuaklong et al., 2020)(Akasaki et al., 2016), ceniza de bagazo de caña de azúcar (Mello et al., 2020)(Fairbairn et al., 2010)(Bahurudeen et al., 2015) (Nugroho et al., 2017), cenizas de teja (Reggiani, 2019) (Bui et al., 2017)(Rachman, 2015).

El material de cenizas volantes, cenizas de cascarilla de arroz y residuos de tejas prensadas de polvo en la manufactura de cementos geopolímeros pueden reaccionar con ayuda de sustancias alcalinas (catalíticas y activadoras) que actúen como activación de los procesos de polimerización y de la liberación de moléculas pequeñas tales como H<sub>2</sub>O para formar más cadenas largas de enlaces de monómeros. Para obtener reacciones de polimerización fue necesario emplear un reactivo del grupo alcalino formado por hidróxido de sodio (NaOH) y silicato de sodio (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) que puede liberar iones innecesarios (Torres-Carrasco and Puertas, 2017)(Zhang et al., 2014) (Bajpai et al., 2020). En un estudio previo la influencia del NaOH sobre el tiempo de fraguado del hormigón se estableció que mientras más alto el componente NaOH en el activador, entonces más rápido será el tiempo de fraguado final (Risdanareni et al., 2015) (Kanaan and Soliman, 2019)(Gupta et al., 2017)(Aliabdo et al., 2016). El propósito de la presente investigación consiste en probar experimentalmente el comportamiento del tiempo de fraguado y para probar experimentalmente el rendimiento del tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión del concreto geopolímero a base de cenizas volantes en comparación con el concreto de cemento Portland.

## 2. Materiales y Metodos

### 2.1 Material

#### Cemento:

Los cementos que se compararán en este experimento son los Portland tipo I, II, III, IV y V. Sus características cumplen el estándar nacional indonesio (SNI) (Badan Standardisasi Nasional-BSN, 2004). En la (Tabla 1) se pueden ver los principales requisitos físicos del cemento Portland.

**Tabla 1.** Principales requisitos físicos del cemento Portland

| Descripción  | Tipos de cemento Portland |     |     |     |     |
|--|---------------------------|-----|-----|-----|-----|
|  | I                         | II  | III | IV  | V   |
| Tiempo de fraguado (método alternativo)<br>con herramienta Vicat |                           |     |     |     |     |
| 1. Tiempo inicial, minuto, mínimo                                | 45                        | 45  | 45  | 45  | 45  |
| 2. Tiempo final, minuto, máximo                                  | 375                       | 375 | 375 | 375 | 375 |
| Resistencia a la compresión:                                     |                           |     |     |     |     |
| 1. 1 Día, kg/cm <sup>2</sup> , Mínimo                            | -                         | -   | 120 | -   | -   |
| 2. 3 Dias, kg/cm <sup>2</sup> , Mínimo                           | 135                       | 100 | 240 | -   | 80  |
| 3. 7 Dias, kg/cm <sup>2</sup> , Mínimo                           | 215                       | 175 | -   | 70  | 150 |
| 4. 28 Dias, kg/cm <sup>2</sup> , Mínimo                          | 300                       | -   | -   | 170 | 210 |

#### Agregado:

El agregado empleado es arena de Ottawa con un peso específico de 2.664 g/cm<sup>3</sup>, tasa de absorción de agua de 0.267%, módulo de finura de 2,427 y contenido de lodo de 0,352%.



**Ceniza volante (CV):**

La ceniza volante se obtiene de desechos de la combustión de carbón en la planta termoeléctrica Paiton, (PLTU Paiton) Probolinggo, Java Oriental, Indonesia. De acuerdo con los estándares dados por ASTM C 618 (American Society for Testing and Materials – ASTM, 2014), esta ceniza volante se incluye en la clase F. La composición química se detalla en la (Tabla 2).

**Tabla 2.** Composición química de la ceniza volante (CV)

| Componentes químicos   | Porcentaje (%) |
|--|----------------|
| SiO <sub>2</sub>   | 52,35          |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 12,11          |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 12,35          |
| CaO  | 6,79           |
| MgO  | 10,63          |
| Na <sub>2</sub> O  | 2,15           |
| SO <sub>3</sub>  | 2,27           |
| H <sub>2</sub> O   | 0,12           |
| LOI  | 0,40           |
| SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 76,84          |

**Ceniza de cascarilla de arroz (CCA):**

La cascarilla de arroz proviene del molino arrocero de Sumber Jeruk, Jember, Java Oriental, Indonesia. Para obtener buenas características puzolánicas, la cascarilla de arroz debe quemarse en el rango de 600°C a 850°C (Barbosa et al., 2013). En este estudio se quemó a ± 650°C durante 24 horas. Las características químicas se detallan en la (Tabla 3).

**Tabla 3.** Composición química de la ceniza de cascarilla de arroz (CCA)

| Componentes químicos   | Porcentaje (%) |
|--|----------------|
| SiO <sub>2</sub>   | 79,7           |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 0,42           |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 0,38           |
| CaO  | 3,99           |
| LOI  | 13,67          |
| SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 80,5           |

**Ceniza de tejas:**

El polvo de tejas se obtuvo de desechos de una fábrica de tejas ubicada en la aldea de Kunir, Lumajang, Java Oriental. La ceniza de tejas se obtuvo quemando polvo de tejas a una temperatura de ± 900 °C durante 24 horas. Las características químicas se detallan en (Tabla 4).



**Tabla 4.** Composición química de la ceniza de tejas (CT)

| Componentes químicos   | Porcentaje (%) |
|--|----------------|
| SiO <sub>2</sub>   | 24,5           |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 17,8           |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 4,52           |
| CaO  | 7,58           |
| LOI  | 15,28          |
| SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 46,82          |

## 2.2 Método de mezcla

La metodología empleada en este estudio es de investigación experimental, con ensayo y error sobre la base de estudios anteriores en el laboratorio. La solución óptima de NaOH se obtiene para 12M. Antes de proceder a la mezcla con silicato de sodio (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>), se deja reposar la solución de NaOH por 24 horas. La razón de la mezcla entre Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> y NaOH es 2. En Tabla 5 y Tabla 6 se muestran la mezcla de pasta y mortero. CV se reemplazó por CCAR y CT en 0%, 5% y 10%.

**Tabla 5.** Composición de la pasta aglutinante de geopolímero

| Código de pasta aglutinante de geopolímero | CV (gr) | CCA (gr) | CT (gr) | NaOH (gr) | Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (gr) |
|--|---------|----------|---------|-----------|---------------------------------------|
| P1   | 300     | -        | -       | 48.5      | 97                                    |
| P2   | 285     | 15       | -       | 48.5      | 97                                    |
| P3   | 270     | 30       | -       | 48.5      | 97                                    |
| P4   | 285     | -        | 15      | 48.5      | 97                                    |
| P5   | 270     | -        | 30      | 48.5      | 97                                    |

**Tabla 6.** Composición del mortero geopolímero (kg/m<sup>3</sup>)

| Mortero geopolímero | Arena de Ottawa | FA     | RHA   | RTA   | NaOH  | Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> |
|---------------------|-----------------|--------|-------|-------|-------|----------------------------------|
| M1                  | 1808,88         | 657,76 | -     | -     | 106,4 | 212,72                           |
| M2                  | 1808,88         | 624,88 | 32,88 | -     | 106,4 | 212,72                           |
| M3                  | 1808,88         | 591,92 | 65,84 | -     | 106,4 | 212,72                           |
| M4                  | 1808,88         | 624,88 | -     | 32,88 | 106,4 | 212,72                           |
| M5                  | 1808,88         | 591,92 | -     | 65,84 | 106,4 | 212,72                           |



**Figura 1.** Especímenes (a) pasta aglutinante; (b) mortero aglutinante



### 2.3. Colada y curado

En un molde de forma cónica, con diámetro superior de 60 mm, diámetro inferior de 70 mm y altura de 40 mm, se coló pasta fresca de geopolímero. Los especímenes de prueba se mantuvieron en gabinete húmedo por espacio de 30 minutos. El mortero geopolímero consiste en pasta de geopolímero y arena de Ottawa. La pasta aglutinante, arena de Ottawa y los activadores alcalinos se mezclaron en un mezclador hasta obtener un mortero geopolímero homogéneo. Las pruebas de homogeneidad de la mezcla se realizaron en una mesa de flujo con el caudal requerido de 110 + 5 mm de acuerdo a los estándares SNI (Badan Standardisasi Nasional-BSN, 2014). El mortero geopolímero se vertió en un cubo de 50 x 50 x 50 mm, dejándolo reposar por 24 horas a temperatura ambiente. El molde se abrió y se mantuvo a una temperatura ambiental promedio de 26°C, hasta la fecha de las pruebas.

### 2.4. Pruebas

Se llevaron a cabo pruebas de tiempo de fraguado para la pasta de geopolímero de acuerdo a los estándares SNI, habilitando las pruebas mecánicas. Se insertó el espécimen de prueba en el dispositivo Vicat, se hizo contacto de la punta de la aguja Vicat en el centro de la superficie del espécimen de prueba, se fijó la posición de la aguja, se ajustó la marca de la escala en cero o bien, se registró el valor inicial y se removió inmediatamente la aguja Vicat. Se registró la penetración de la aguja Vicat al interior del espécimen de prueba después de 30 segundos. Se repitió esta prueba cada cinco minutos. Cada vez que se realizó una prueba de penetración, se tuvo que limpiar y enderezar la aguja Vicat a una posición libre de vibraciones. Se llevaron a cabo pruebas de resistencia a la compresión del mortero geopolímero de acuerdo a los estándares SNI (Badan Standardisasi Nasional-BSN, 2002). Antes de las pruebas, el mortero se retira del área de tratamiento y se deja reposar por 15 minutos. La superficie del mortero se aplana y nivela con lija. La resistencia del mortero a la compresión se probó transcurridos 1, 3, 7 y 28 días.

## 3. Resultado y discusión

### 3.1. Tiempo de fraguado

Sobre la base de lo que se aprecia en la (Figura 2), se puede concluir que las cinco proporciones de cemento geopolímero tienen un fraguado más rápido que el cemento Portland, en lo que influye el hidróxido de sodio (NaOH), ya que mientras más alto el valor del activador, más breve es el tiempo de fraguado (Akasaki et al., 2016) (Pavithra et al., 2016). La pasta con 100% de contenido de ceniza volante (P1) tiene el menor tiempo de fraguado. Al reemplazar CV con CCAR y CT, el fraguado se hará más lento. En esto influyen la forma de las partículas y su contenido de sílice. (Nuaklong et al., 2020) (Pinasang et al., 2016). La forma esférica de las partículas de CV incrementará la reacción aglutinante, reduciendo el consumo de agua, aglutinándose fácilmente y reduciendo el espacio entre los ingredientes mezclados (Manjunath and Ranganath, 2019). La forma de las partículas de CCA con orificios como esponja tendrá altos requerimientos de agua, por lo que su reacción es lenta (Barbosa et al., 2013). El contenido de sílice de la CT es menor que el de la CV, por lo que también en este caso la reacción es más lenta (Okoye et al., 2017).

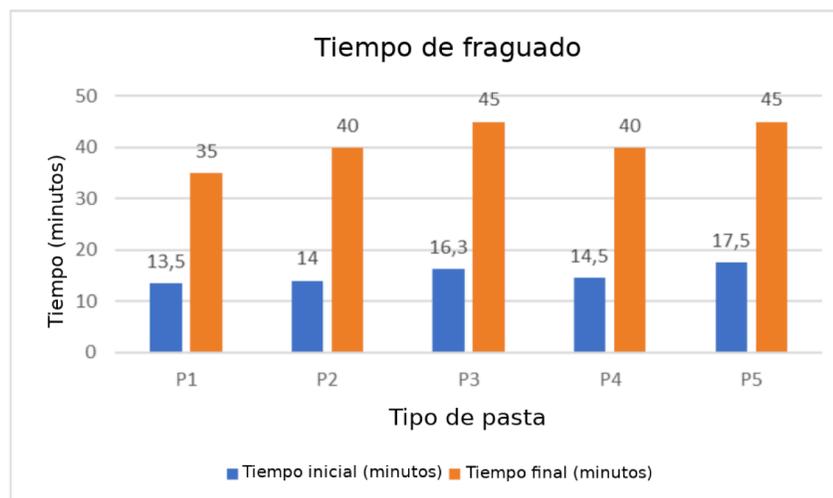


Figure 2. Setting Time



### 3.2. Resistencia a la compresión

Como se aprecia en la Figura 3, tras 1 día, la resistencia a la compresión de los tipos de cemento geopolímero M1, M2, M3 y M4 concuerda con la resistencia a la compresión del cemento Portland; a los 3 días, la resistencia a la compresión de todas las proporciones de cementos geopolímeros concuerda con la de los cementos Portland excepto para el caso del cemento Portland tipo III; tras 7 días, la resistencia a la compresión de los tipos de cemento geopolímero M1, M4 y M5 concuerda con la del cemento Portland; a los 28 días la resistencia a la compresión del cemento geopolímero en todas sus proporciones concuerda con la del cemento Portland.

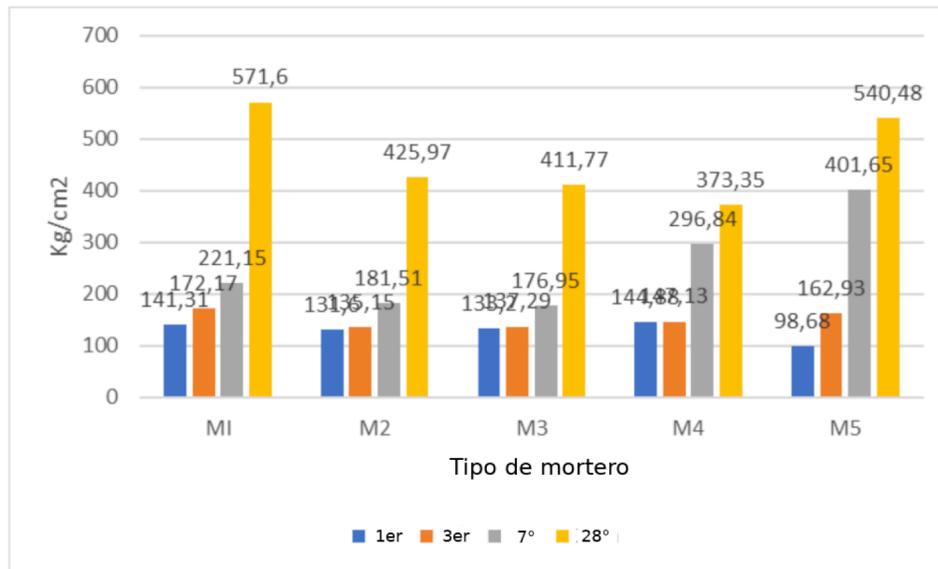


Figura 3. Resistencia a la compresión

La determinación de la proporción óptima se efectuó en este estudio transcurridos 28 días, donde de todas las proporciones, el mejor resultado se obtuvo con 100% de ceniza volante. Con la adición de ceniza de cascarilla de arroz o de ceniza de tejas se obtienen buenos resultados, no tan distantes de los que se logran con 100% de ceniza volante. La adición de este tipo de componentes a veces arroja mejores y a veces peores valores de resistencia a la compresión a ciertas edades como por ejemplo a los 1, 3, 7 y 28 días. A 1 día, la adición de ceniza de tejas (5%) arrojó una resistencia a la compresión mayor que con 100% de ceniza volante. A los 7 días de edad, la adición de ceniza de tejas en 5% y 10% arrojó una resistencia a la compresión mayor que con 100% de ceniza volante. A los 28 días, la adición de ceniza de cascarilla de arroz y ceniza de tejas, o de ambos materiales, no arroja una resistencia a la compresión mayor que con 100% de ceniza volante. La adición de ceniza de cascarilla de arroz a la ceniza volante siempre provee una resistencia a la compresión menor que con 100% de ceniza volante. La determinación de la proporción óptima se realiza a la edad de 28 días, ya que a esa edad el valor de la resistencia a la compresión se considera estable (Badan Standardisasi Nasional-BSN, 2013). La (Figura 3) muestra que la proporción óptima que arroja una alta resistencia a la compresión es la de 100% de ceniza volante.

## 4. Conclusiones

En esta sección, en términos generales y en base a los resultados que se presentan en este trabajo, podemos comparar la adición de ceniza de cascarilla de arroz y de ceniza de tejas a la ceniza volante empleada en cementos geopolímeros con el cemento Portland. De esta investigación se desprenden las siguientes conclusiones:

- De los resultados de la preparación de todos los tipos de pasta y mortero de geopolímeros se desprende que tanto la mezcla como el caudal de flujo homogéneo cumplen con los requerimientos de SNI para la producción de mortero geopolímero.



- b. El cemento geopolímero presenta un tiempo de fraguado más breve que el cemento Portland. En el caso del cemento geopolímero, con la sustitución de ceniza volante por ceniza de cascarilla de arroz o ceniza de tejas el fraguado es más lento.
- c. Las pruebas de resistencia a la compresión muestran como resultado que el cemento geopolímero con un contenido de 100% de ceniza volante puede ser una alternativa al empleo de cemento Portland de los tipos I, II, IV, V; que con sustitución de ceniza volante por ceniza de cascarilla de arroz puede ser una alternativa al empleo de cemento Portland de los tipos II, IV, V; que sustituyendo la ceniza volante por ceniza de tejas puede ser una alternativa al empleo de cemento Portland de los tipos I, II, IV y V.
- d. La composición óptima del cemento geopolímero a los 28 días se obtuvo con 100% de ceniza volante.

## 5. References

- Akasaki, J.; Moraes, M.; Silva, C.; Fioriti, C.; Tashima, M. (2016).** Assessment of the maturity concept in concrete with addition of rice husk ash. *Revista Ingeniería de Construcción*, 31(3), 175–182. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732016000300003>
- Aliabdo, A. A.; Abd Elmoaty, A. E. M.; Salem, H. A. (2016).** Effect of water addition, plasticizer and alkaline solution constitution on fly ash based geopolymer concrete performance. *Construction and Building Materials*, 121, 694–703. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.062>
- American Society for Testing and Materials –ASTM. (2014).** C168-12a : Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use. Philadelphia, United States of America.
- Amran, Y. H. M.; Alyousef, R.; Alabduljabbar, H.; El-Zeadani, M. (2020).** Clean production and properties of geopolymer concrete; A review. *Journal of Cleaner Production*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119679>
- Badan Standardisasi Nasional-BSN. (2004).** SNI 15-2049 : Semen portland. Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional-BSN. (2014).** SNI 6882 : Spesifikasi Mortar untuk Pekerjaan Unit Pasangan. Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional-BSN. (2002).** Sni 03-6825 : Standar Nasional Indonesia Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen Portland untuk pekerjaan sipil. Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional-BSN. (2013).** SNI 2847: Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Jakarta, Indonesia: SNI.
- Bahurudeen, A.; Kanraj, D.; Gokul Dev, V.; Santhanam, M. (2015).** Performance evaluation of sugarcane bagasse ash blended cement in concrete. *Cement and Concrete Composites*, 59, 77–88. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.03.004>
- Bajpai, R.; Choudhary, K.; Srivastava, A.; Sangwan, K. S.; Singh, M. (2020).** Environmental impact assessment of fly ash and silica fume based geopolymer concrete. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120147. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120147>
- Barbosa, M. B.; PEREIRA, A. M.; Akasaki, J. L.; Fioriti, C. F.; Fazzan, J. V.; TASHIMA, M. M. et al. (2013).** Impact strength and abrasión resistance of high strength concrete with rice husk ash and rubber tires. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 6(5), 811–820. <https://doi.org/10.1590/s1983-41952013000500007>
- Bui, P. T.; Ogawa, Y.; Nakarai, K.; Kawai, K.; Sato, R. (2017).** Internal curing of Class-F fly-ash concrete using high-volume roof-tile waste aggregate. *Materials and Structures*, 50(4), 203. <https://doi.org/10.1617/s11527-017-1073-z>
- Chen, L.; Wang, Z.; Wang, Y.; Feng, J. (2016).** Preparation and Properties of Alkali Activated Metakaolin-Based Geopolymer. *Materials (Basel, Switzerland)*, 9(9), 767. <https://doi.org/10.3390/ma9090767>
- Mello, L. C.; Soares, M. A.; De Sá, M. V.; De Souza, N.; De Farias, E. C. (2020).** Effect of high temperatures on self-compacting concrete with high levels of sugarcane bagasse ash and metakaolin. *Construction and Building Materials*, 248, 118715. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118715>
- Fairbairn, E. M. R.; Americano, B. B.; Cordeiro, G. C.; Paula, T. P.; Toledo Filho, R. D.; Silvano, M. M. (2010).** Cement replacement by sugar cane bagasse ash: CO2 emissions reduction and potential for carbon credits. *Journal of Environmental Management*, 91(9), 1864–1871. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.04.008>
- Gülşan, M. E.; Alzebaree, R.; Rasheed, A. A.; Niş, A.; Kurtoglu, A. E. (2019).** Development of fly ash/slag based self-compacting geopolymer concrete using nano-silica and steel fiber. *Construction and Building Materials*, 211, 271–283. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.228>
- Gupta, S.; Chandrakar, G.; & Ash, F. (2017).** Experimental Studies on Fly Ash Based Geopolymer Concrete without Portland Cement-An Eco Friendly Construction. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 7(5), 11514–11520.
- Hasanbeigi, A.; Lu, H.; Williams, C.; Price, L. (2012).** International Best Practices for Pre- Processing and Co-Processing Municipal Solid Waste and Sewage Sludge in the Cement Industry. (July), 123.
- Kanaan, D. M.; Soliman, A. M. (2019).** Effect of activator composition on the performance of alkali-activated scc. *CSCE Annual Conference Growing*, 1–9.
- Manjunath, R.; Ranganath, R. V. (2019).** Performance Evaluation of Fly-ash based Self-compacting geopolymer concrete mixes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 561(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/561/1/012006>
- Muhammad, N.; Baharom, S.; Amirah, N.; Ghazali, M.; Alias, N. A. (2019).** Effect of Heat Curing Temperatures on Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *International Journal of Engineering & Technology*, 8(January), 15–19.
- Nuaklong, P.; Jongvivatsakul, P.; Pothisiri, T.; Sata, V.; Chindaprasirt, P. (2020).** Influence of rice husk ash on mechanical properties and fire resistance of recycled aggregate high-calcium fly ash geopolymer concrete. *Journal of Cleaner Production*, 252. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119797>
- Nugroho, A.; Rahman Saleh, A.; Rawamangun Muka, J.; Timur Surel, J. (2017).** Utilization of Baggase Ash on Lightweight Foamed Concrete. *Jurnal Permukiman*, 12(1), 20–24.
- Okoye, F. N.; Prakash, S.; Singh, N. B. (2017).** Durability of fly ash based geopolymer concrete in the presence of silica fume. *Journal of Cleaner Production*, 149, 1062–1067. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.176>
- Pasupathy, K.; Berndt, M.; Sanjayan, J.; Rajeev, P.; Cheema, D. S. (2017).** Durability of lowcalcium fly ash based geopolymer concrete culvert in a saline environment. *Cement and Concrete Research*, 100(January), 297–310. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.07.010>
- Pavithra, P.; Srinivasula Reddy, M.; Dinakar, P.; Hanumantha Rao, B.; Satpathy, B. K.; Mohanty, A. N. (2016).** A mix design procedure for geopolymer concrete with fly ash. *Journal of Cleaner Production*, 133, 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.041>



- Pinasang, D. B.; Sompie, O. B.; Jansen, F. (2016). Analisis campuran kapur-fly ash dan kapur-abu sekam padi terhadap lempung ekspansif. *Media Engineering*, 6(2), 157–178.
- Rachman, F. (2015).** Penggunaan Abu Sekam Padi Dan Abu Batu Pada Pembuatan Genteng Beton (Jember University). Retrieved from <http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/72801>
- Reggiani, A. (2019, January 2).** Geopolymer roof tile. *Proceedings of the 42nd International Conference on Advanced Ceramics and Composites*, pp. 225–232. <https://doi.org/doi:10.1002/9781119543381.ch20>
- Reza, B.; Soltani, A.; Ruparathna, R.; Sadiq, R.; Hewage, K. (2013).** Environmental and economic aspects of production and utilization of RDF as alternative fuel in cement plants: A case study of Metro Vancouver Waste Management. *Resources, Conservation and Recycling*, 81, 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.10.009>
- Risdanareni, P.; Ekaputri, J. J.; Triwulan. (2015).** The Influence of Alkali Activator Concentration to Mechanical Properties of Geopolymer Concrete with Trass as a Filler. *Geopolymer and Green Technology Materials*, 803, 125–134. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.803.125>
- Stafford, F. N.; Viquez, M. D.; Labrincha, J.; Hotza, D. (2015).** Advances and Challenges for the Co-processing in Latin American Cement Industry. *Procedia Materials Science*, 9, 571–577. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.05.032>
- Torres-Carrasco, M.; Puertas, F. (2017).** Alkaline activation of different aluminosilicates as an alternative to Portland cement: Alkali activated cements or geopolymers. *Revista Ingeniería de Construcción*, 32(2), 5–12. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732017000200001>
- Yacob, N. S.; ElGawady, M. A.; Sneed, L. H.; Said, A. (2019).** Shear strength of fly ash-based geopolymer reinforced concrete beams. *Engineering Structures*, 196 (August 2018), 109298. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109298>
- Yanguatin, H.; Tobón, J.; Ramírez, J. (2017).** Pozzolanic reactivity of kaolin clays, a review | Reactividad puzolánica de arcillas caoliníticas, una revisión. *Revista Ingeniería de Construcción*, 32 (2), 13–24.
- Zhang, Z.; Provis, J. L.; Reid, A.; Wang, H. (2014).** Geopolymer foam concrete: An emerging material for sustainable construction. *Construction and Building Materials*, 56, 113–127. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.081>

