

*Fly ash* merupakan sisa pembakaran batubara yang banyak mengandung silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), fero oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ). Penggunaan batubara sebagai bahan bakar domestik meningkat 93% atau sebanyak 648 juta ton dengan perkiraan potensi *fly ash* hingga 55 juta ton pada tahun 2050. Oleh sebab itu perlu adanya pengolahan *fly ash* sebagai bahan konstruksi pengganti semen pozzolan. Proses pembuatan semen memerlukan suhu tinggi hingga  $1450^\circ\text{C}$  sehingga dianggap kurang ramah lingkungan dari sisi energi dan emisi gas  $\text{CO}_2$ . Oleh sebab itu perlu adanya material pengganti semen salah satunya yaitu geopolimer. Penelitian ini geopolimer dibuat dengan mereaksikan silika dan alumina pada *fly ash* dengan aktivator padat pada suhu ruang.

Pembuatan geopolimer dilakukan dengan metode kering menggunakan *fly ash* yang berasal dari PLTU Pacitan, Jawa Timur dan PLTU Muara Enim, Sumatera Selatan, Indonesia. Proses diawali dengan preparasi *fly ash* dilanjutkan dengan pembuatan aktivator padat dari NaOH padat dan *fly ash* yang dikalsinasi pada suhu  $400^\circ\text{C}$ ,  $500^\circ\text{C}$  dan  $650^\circ\text{C}$  serta pembuatan pasta geopolimer. Analisis XRF dilakukan untuk mengetahui komposisi oksida fly ash, sedangkan analisis XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal fly ash dan aktivator padat. Gugus-gugus fungsi yang terdapat dalam flyash dan geopolimer dianalisis menggunakan FTIR. Kekuatan mekanik geopolimer diukur dari kuat tekannya. Data analisis XRD aktivator padat digunakan untuk mengetahui komposisi kristal natrium silika ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) yang merupakan mineral reaktif dalam pembuatan geopolimer. Sementara data analisis kuat tekan geopolimer digunakan untuk optimasi menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM).

Hasil XRF *fly ash* PLTU Pacitan termasuk kategori fly ash kelas C dan *fly ash* PLTU Muara Enim *fly ash* kelas F. Hasil XRD *fly ash* PLTU Pacitan memiliki fase amorf yang lebih banyak. Diperoleh hasil XRD bahwa kondisi optimum untuk aktivator padat dicapai pada suhu kalsinasi  $500^\circ\text{C}$  dengan komposisi mineral reaktif natrium silika ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) sebanyak 39% dan 39,5% untuk masing-masing *fly ash* PLTU Pacitan dan PLTU Muara Enim. Kuat tekan optimum pada geopolimer *fly ash* PLTU Pacitan sebesar 15,968 Mpa dengan konsentrasi alkali 8,333 M pada penambahan aktivator padat 20% dan air 30%. Sementara kuat tekan optimum geopolimer *fly ash* PLTU Muara Enim sebesar 0,158 Mpa dengan konsentrasi alkali 2,941 M pada penambahan aktivator padat 20% dan air 85%. *Fly ash* PLTU Pacitan yang memiliki CaO (15,288%) dan fase amorf (66,43%) lebih tinggi dibandingkan dengan *fly ash* PLTU Muara Enim (CaO 8,562% dan fase amorf 65,6%) membuat kekuatan mekanik geopolimer *fly ash* PLTU Pacitan lebih tinggi pada suhu ruang. CaO lebih tinggi memiliki sifat *self-cementing* (kemampuan mengeras jika bereaksi dengan air) secara alami serta fase amorf yang tinggi menyebabkan reaksi yang lebih tinggi atau lebih reaktif mempengaruhi peningkatan kuat tekan.

Kata Kunci: *fly ash*, aktivator padat, suhu kalsinasi, geopolimer, kuat tekan

## ABSTRACT

Fly ash is the residue of coal combustion which contains a lot of silica ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ferrous oxide ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) and calcium oxide ( $\text{CaO}$ ). The use of coal as a domestic fuel has increased by 93% or as much as 648 million tonnes with an estimated potential of up to 55 million tonnes of fly ash by 2050. Therefore, it is necessary to process fly ash as a construction material to replace pozzolanic cement. The cement manufacturing process requires a high temperature of up to  $1450^\circ\text{C}$  so it is considered less environmentally friendly in terms of energy and  $\text{CO}_2$  gas emissions. Therefore, it is necessary to have a cement substitute material, one of which is a geopolymer. In this research, geopolymer was made by reacting silica and alumina in fly ash with a solid activator at room temperature.

The manufacture of geopolymers is carried out using the dry method using fly ash originating from PLTU Pacitan, East Java, Indonesia which is a class C fly ash category and from PLTU Muara Enim, South Sumatra, Indonesia in the class F fly ash category. The process begins with the preparation of fly ash, followed by making solid activators from solid NaOH and fly ash calcined at temperatures of  $400^\circ\text{C}$ ,  $500^\circ\text{C}$  dan  $650^\circ\text{C}$  and making a geopolymer paste. XRF analysis to determine the oxide composition of fly ash. XRD analysis to determine the crystal structure of fly ash and solid activator. Geopolymer compressive strength analysis to determine the mechanical strength of geopolymers. Functional group analysis using FTIR. Solid activator XRD analysis data was used to determine the optimum crystal composition of sodium silica ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) a reactive mineral in the manufacture of geopolymers. Meanwhile, geopolymer compressive strength analysis data is used for optimization using the Response Surface Methodology (RSM).

The XRF results of fly ash from PLTU Pacitan are classified as class C fly ash and fly ash from Muara Enim PLTU fly ash class F. XRD results from PLTU Pacitan fly ash have more amorphous phases. XRD results obtained that the optimum conditions for solid activator at a calcination temperature of  $500^\circ\text{C}$  with a reactive mineral composition of sodium silica ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) was 39% and 39.5% for the fly ash of PLTU Pacitan and PLTU Muara Enim, respectively. The optimum compressive strength of the PLTU Pacitan fly ash geopolymer is 15,968 Mpa with an alkaline concentration of 8,333 M with the addition of 20% solids activator and 30% water. While the optimum compressive strength of the fly ash geopolymer of PLTU Muara Enim is 0.158 Mpa with an alkaline concentration of 2,941 M with the addition of 20% solids activator and 85% water. and the amorphous phase (66,43%) was higher than that of the Muara Enim PLTU ( $\text{CaO}$  8,562% and 65,6% amorphous phase), making the mechanical strength of the PLTU Pacitan fly ash geopolymer higher at room temperature. Higher  $\text{CaO}$  has self-cementing properties (the ability to harden if it reacts with water) naturally and the high amorphous phase causes a higher or more reactive reaction which affects the increase in compressive strength.

Keywords: fly ash, solid activator, calcination temperature, geopolymer, compressive strength