

Perkembangan infrastruktur saat ini dihadapkan dengan tantangan untuk meningkatkan performa dan keberlanjutan dengan melakukan efisiensi waktu dan biaya. Beton sebagai material konstruksi terus berinovasi untuk menjawab tantangan tersebut, dengan mengembangkan beton *high early strength* (HES), yang mampu mencapai performa tinggi dalam waktu singkat ( $f'c$  24 jam  $\geq$  20 MPa). Namun, beton HES masih mengandung semen OPC dalam jumlah yang besar sebagai bahan baku utamanya, di mana semen OPC menyumbang peningkatan CO<sub>2</sub> secara global. Untuk itu, dilakukan upaya untuk membatasi penggunaan semen maksimum 460 kg/m<sup>3</sup> dengan cara substitusi material alternatif yang ramah lingkungan, salah satunya dengan menggunakan *fly ash*. Penggunaan *fly ash* memberikan performa yang menjanjikan bagi sifat fisik dan mekanik pada beton HES, terlebih ketika dikombinasikan dengan aktivator alkali serta *admixture*.

Penelitian ini menginvestigasi proporsi campuran yang optimal dalam pengembangan beton HES, dengan mensubstitusikan *fly ash* serta penggunaan aktivator alkali dan *admixture* pada semen OPC. Penelitian ini menggunakan semen OPC tipe 1 dan *fly ash* kelas F yang bersumber dari PLTU Suralaya sebagai bahan sementius, dengan menggunakan  $FAS_m$  0,25. Aktivator alkali terdiri dari kombinasi Sodium Silikat (SS) dan Sodium Hidroksida (SH) dengan rasio SS/SH ( $R$ ) konstan 2, rasio alkali/sementius ( $A$ ) sebesar 0,35, serta molaritas larutan NaOH sebesar 10 M. Komposisi *fly ash* sebagai material substitusi semen OPC divariasikan dengan rasio 10:90, 20:80, dan 30:70. Penambahan Sika® ViscoCrete®-1050 HE TH digunakan untuk melihat pengaruhnya terhadap workabilitas campuran.

Dilakukan pengujian sifat fisik berupa workabilitas beton HES meliputi uji *flow* dan slump, sedangkan sifat mekanik meliputi uji kuat tekan pada umur 24 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi optimum dicapai oleh campuran beton dengan substitusi *fly ash* sebesar 30%, 5% aktivator alkali, 0,3% *superplasticizer*,  $R_m$  dan  $R_b = 1,4$ . Komposisi ini menghasilkan beton dengan kuat tekan sebesar 36,8 MPa dalam waktu 24 jam serta workabilitas yang tinggi (slump >180 mm), yang memenuhi kriteria beton HES.

**Kata kunci:** Beton *high early strength*, *fly ash*, aktivator alkali, semen OPC, *superplasticizer*.

Infrastructure development currently faces the challenge of improving performance and sustainability by optimizing time and cost efficiency. Concrete, as a construction material, continues to innovate to address these challenges by developing high early strength (HES) concrete, which can achieve high performance in a short time ( $f'c$  24 hours  $\geq 20$  MPa). However, HES concrete still contains a significant amount of OPC as its primary raw material, where OPC contributes to global CO<sub>2</sub> emissions. Therefore, efforts are being made to limit cement usage to a maximum of 460 kg/m<sup>3</sup> by substituting environmentally friendly alternative materials, one of which is fly ash. The use of fly ash offers promising performance for the physical and mechanical properties of HES concrete, especially when combined with alkali activators and admixtures.

This study investigates the optimal mix proportions in developing HES concrete by substituting fly ash and using alkali activators and admixtures in OPC. The study uses Type 1 OPC and Class F fly ash sourced from Suralaya Power Plant as the cementitious material, using  $FAS_m$  0.25. The alkali activator consists of a combination of Sodium Silicate (SS) and Sodium Hydroxide (SH) with a constant SS/SH ratio ( $R$ ) of 2, an alkali/cement ratio ( $A$ ) of 0.35, and a NaOH solution molarity of 10 M. The composition of fly ash as a cement substitute was varied at ratios of 10:90, 20:80, and 30:70. The addition of Sika® ViscoCrete®-1050 HE TH was used to assess its effect on the workability of the mixture.

Physical properties of HES concrete were tested, including flow and slump tests, while mechanical properties were tested for compressive strength at 24 hours. The results showed that the optimal variation was achieved by a concrete mixture with 30% fly ash substitution, 5% alkali activator, 0.3% superplasticizer, and  $R_m$  and  $R_b = 1.4$ . This composition produced concrete with a compressive strength of 36.8 MPa at 24 hours and high workability (slump  $>180$  mm), meeting the criteria for HES concrete.

**Keywords:** High early strength concrete, fly ash, alkali activator, OPC, superplasticizer.