

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan infrastruktur yang semakin pesat memicu peningkatan permintaan pasokan material konstruksi, terutama semen *Portland Composite Cement* (PCC). Berbeda dengan *Ordinary Portland Cement* (OPC), semen PCC banyak digunakan oleh sektor industri karena lebih mudah ditemukan di pasaran, memiliki panas hidrasi yang lebih rendah, serta durabilitasnya yang tinggi terhadap sulfat¹. Meskipun menjadi pilar utama dalam modernisasi fisik, industri semen dihadapkan pada tantangan lingkungan yang masif. Proses dekarbonisasi batu kapur (*limestone*) selama proses pembakaran klinker di dalam *kiln* bersuhu tinggi menyumbang emisi gas karbon dioksida (CO_2) global dalam jumlah yang sangat signifikan². Berdasarkan laporan *Global Cement and Concrete Association* (GCCA, 2024) dan penelitian Shan et al., (2023), produksi semen bertanggung jawab sekitar 7% hingga 8% dari total emisi gas CO_2 global yang bersumber dari proses dekarbonisasi batu kapur (*limestone*) dan pembakaran klinker di dalam rotary kiln bersuhu ekstrem^{3,4}. Guna meminimalisasi jejak karbon tanpa mengorbankan kekuatan struktur, penggunaan *Supplementary Cementitious Materials* (SCMs) menjadi solusi krusial melalui substitusi klinker dengan material alternatif yang ramah lingkungan⁵.

Salah satu material SCMs lokal yang memiliki potensi adalah pozzolan alam (*natural pozzolan*). Secara kimiawi, pozzolan alam tersusun atas senyawa silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3). Dalam kondisi halus dan amorf, material ini mampu bereaksi secara sekunder dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang dilepaskan dari reaksi proses hidrasi semen primer. Reaksi pozzolanik sekunder ini menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) tambahan yang memiliki sifat mengikat layaknya semen⁶. Pembentukan gel C-S-H sekunder ini berkontribusi langsung dalam memperbaiki struktur mikro matriks semen, mengurangi porositas, serta meningkatkan kuat tekan dan durabilitas mortar pada umur panjang⁷. Namun demikian, tidak seperti limbah industri homogen, kualitas dan reaktivitas pozzolan alam sangat tergantung pada lokasi geologis, derajat pelapukan, serta proses pembentukannya⁸.

Provinsi Sumatera Barat memiliki banyak gunung berapi aktif⁹, sehingga menyimpan potensi pozzolan alam yang sangat melimpah dari sisa letusan gunung berapi. Material tersebut tersebar di beberapa wilayah dengan karakter dan kandungan kimia yang bervariasi, di antaranya di daerah Agam, Lubuk Alung (LA), dan Sicincin (SCC). Secara tatanan geologis dan posisi geografis, daerah Agam yang letaknya berdekatan dengan pusat gunung berapi (seperti Gunung Marapi dan Singgalang) diperkirakan memiliki karakteristik material yang berbeda jika dibandingkan dengan Lubuk Alung dan Sicincin yang posisinya berada di dataran yang lebih

rendah¹⁰. Perbedaan ini memicu variasi pada komposisi kimia, tingkat kristalinitas, hingga kadar air bawaan materialnya.

Ketidakseragaman parameter instrinsik pozzolan dari ketiga wilayah tersebut memunculkan masalah krusial bagi standarisasi kualitas semen komposit yang di produksi. Tingginya persentase mineral lempung hidrofilik (seperti jenis kaolin) pada lokasi tertentu rentan bertindak sebagai pengotor yang memicu lonjakan kebutuhan air pencampur secara ekstrem. Karakteristik ini berisiko meninggalkan rongga berlebih setelah penguapan air sisa hidrasi, meningkatkan porositas, serta menurunkan kuat tekan akhir semen¹¹. Dominasi fasa silika kristalin stabil efektif bekerja sebagai pengisi mikro fisik (*micro-filler*) sehingga menyebabkan nilai *Strength Activity Index* (SAI) yang tinggi^{12,13}. Oleh karena itu, pengujian langsung mengenai parameter kimia pozzolan alam dari berbagai sumber di Sumatera Barat perlu dilakukan. Langkah penting guna memastikan efek penambahannya tetap menjaga kualitas fisik dan mekanis semen PCC agar stabil, bermutu tinggi, dan memenuhi standar SNI 15-2049-2004 sebagai material substitusi klinker.

Berdasarkan kesenjangan ilmiah dan kebutuhan industri, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik pozzolan alam yang berasal dari daerah Agam, LA, dan SCC di Sumatera Barat. Lebih lanjut, penelitian ini difokuskan untuk mengidentifikasi dan menjelaskan efek substitusi material pozzolan dari ketiga sumber yang berbeda terhadap karakteristik kualitas fisik, mekanis, serta pemenuhan standar mutu semen *Portland Composite Cement* (PCC).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, rumusan masalah dalam riset ini yaitu :

1. Bagaimana karakteristik pozzolan alam yang berasal dari daerah Agam, Lubuk Alung, dan Sicincin di Sumatera Barat?
2. Bagaimana efek penambahan pozzolan alam dari ketiga sumber yang berbeda terhadap karakteristik kualitas fisik dan mekanis semen *Portland Composite Cement* (PCC)?
3. Sumber pozzolan manakah yang memberikan performa optimum dan memenuhi standar mutu semen PCC yang berlaku?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui karakteristik pozzolan alam yang berasal dari daerah Agam, Lubuk Alung, dan Sicincin di Sumatera Barat.
2. Mengidentifikasi efek penambahan pozzolan alam dari ketiga sumber yang berbeda terhadap karakteristik kualitas fisik dan mekanis semen *Portland Composite Cement* (PCC).

3. Mengidentifikasi sumber pozzolan manakah yang memberikan performa optimum dan memenuhi standar mutu semen PCC yang berlaku.

1.4 Manfaat Penelitian

Riset ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai efek penambahan pozzolan dari berbagai sumber terhadap kualitas akhir semen *Portland Composite Cement* (PCC) dan untuk mengetahui karakteristik dari masing-masing pozzolan Agam, Lubuk Alung, dan Sicincin.

