

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan pembangunan infrastruktur secara global menyebabkan konsumsi semen terus meningkat setiap tahunnya. Data dari *International Energy Agency* (IEA) menunjukkan bahwa produksi semen dunia telah mencapai sekitar 4,27 miliar ton per tahun, yang terus meningkat seiring pertumbuhan urbanisasi dan pembangunan. Berdasarkan data dari Asosiasi Semen Indonesia tercatat konsumsi semen nasional mencapai sekitar 63-66 juta ton per tahun dalam beberapa tahun terakhir. Produksi semen yang tinggi berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon dioksida (CO_2). Data statistika terbaru menunjukkan bahwa industri semen menghasilkan sekitar 1,47 miliar ton CO_2 pada tahun 2024. Oleh karena itu, industri semen merupakan salah satu sektor industri dengan kontribusi emisi karbon terbesar. Sebagian besar emisi tersebut berasal dari proses produksi klinker yang melibatkan dekarbonasi batu kapur dan penggunaan energi termal pada kiln. Kondisi ini mendorong berbagai upaya untuk mengurangi emisi industri semen, salah satunya melalui pengurangan penggunaan klinker dengan memanfaatkan *supplementary cementitious material* (SCM) sebagai bahan pengganti sebagian klinker dalam semen komposit. Penggunaan SCM dianggap sebagai salah satu strategi yang paling efektif untuk menurunkan jejak karbon industri tanpa mengurangi performa material konstruksi¹.

Salah satu jenis semen komposit yang banyak digunakan adalah *Portland Composite Cement* (PCC), yaitu semen yang mengandung bahan tambahan mineral seperti *fly ash* sebagai *supplementary cementitious material* (SCM). Penggunaan *fly ash* tidak hanya mengurangi kebutuhan klinker, tetapi juga meningkatkan keberlanjutan industri semen melalui pemanfaatan limbah hasil pembakaran batu bara. *Fly ash* merupakan salah satu SCM yang paling banyak digunakan karena ketersediaannya yang melimpah serta kemampuannya untuk menggantikan sebagian klinker dalam sistem semen. Di Indonesia, jumlah *fly ash* dan *bottom ash* (FABA) yang dihasilkan sangat signifikan. Data dari PT PLN (Parsero) menunjukkan bahwa pada tahun 2023, total produksi FABA mencapai sekitar 1,43 juta ton per tahun. Ketersediaan *fly ash* yang melimpah tersebut memberikan potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam semen komposit. Selain berkontribusi dalam pemanfaatan limbah industri, penggunaan *fly ash* sebagai pengganti sebagian klinker juga dapat menurunkan emisi CO_2 karena mengurangi kebutuhan produksi klinker yang merupakan sumber emisi terbesar dalam industri semen².

Karakteristik *fly ash* sangat menentukan kualitas semen PCC yang dihasilkan. Secara kimia, *fly ash* Tipe F umumnya didominasi oleh silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan oksida besi (Fe_2O_3) serta memiliki kandungan kalsium (CaO) yang relatif rendah. Sebagian besar SiO_2 dan Al_2O_3 berada dalam bentuk amorf yang bersifat pozzolanik. Material ini mampu bereaksi dengan

kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) yang dihasilkan dari proses hidrasi semen untuk membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H) sekunder. Pembentukan C-S-H tersebut menyebabkan struktur pasta semen menjadi lebih padat, menurunkan porositas, serta berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan pada umur lanjut³.

Selain sifat kimia, karakteristik fisik *fly ash* seperti ukuran partikel, distribusi ukuran partikel (PSD), dan kehalusan juga berpengaruh signifikan terhadap kualitas semen PCC. *Fly ash* umumnya memiliki partikel berbentuk bulat dengan ukuran yang sangat halus, sehingga dapat memberikan efek pengisian (*micro filler*) yang meningkatkan kerapatan struktur mikro. Efek ini menyebabkan penurunan porositas serta meningkatkan densitas material, yang berdampak positif terhadap durabilitas semen⁴. Pengaruh karakteristik *fly ash* terhadap kualitas semen juga berkaitan dengan variasi sumber dan proses pembentukannya. Hal ini berdampak langsung terhadap kualitas semen yang dihasilkan, sehingga diperlukan karakterisasi yang menyeluruh sebelum *fly ash* digunakan sebagai bahan tambahan dalam PCC⁵.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa karakteristik *fly ash* memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan kualitas semen PCC. Variasi sifat kimia dan fisika *fly ash* menyebabkan perbedaan signifikan terhadap kinerja semen, sehingga diperlukan analisis yang menyeluruh untuk memahami pengaruhnya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik *fly ash* Tipe F serta mengevaluasi pengaruhnya terhadap kualitas semen PCC, sehingga dapat diperoleh pemanfaatan yang optimal dalam mendukung pengembangan material konstruksi yang lebih berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana karakteristik *fly ash* yang berasal dari PT Sari Dumai Sejati-Dumai (SDS), PT RAPP-Riau, PT Energi Sejahtera Mas-Dumai (ESM), PLTU Tenayan-Riau (TNY), PLTU Teluk Sirih-Padang (TS)?
2. Bagaimana efek penambahan *fly ash* dari kelima sumber yang berbeda terhadap kualitas semen *Portland Composite Cement* (PCC)?
3. Sumber *fly ash* manakah yang memberikan performa optimal dan memenuhi standar mutu semen PCC yang berlaku?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui karakteristik *fly ash* yang berasal dari PT Sari Dumai Sejati-Dumai (SDS), PT RAPP-Riau, PT Energi Sejahtera Mas-Dumai (ESM), PLTU Tenayan-Riau (TNY), PLTU Teluk Sirih-Padang (TS).

2. Mengidentifikasi efek penambahan *fly ash* dari kelima sumber yang berbeda terhadap kualitas semen *Portland Composite Cement* (PCC).
3. Menentukan sumber *fly ash* manakah yang memberikan performa optimal dan memenuhi standar mutu semen PCC yang berlaku.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat yaitu sebagai sumber informasi mengenai karakteristik *fly ash* dari berbagai sumber industri serta pengaruhnya terhadap kualitas fisik maupun mekanis semen *Portland Composite Cement* (PCC). Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan dalam pemilihan sumber *fly ash* yang paling optimal dan memenuhi standar mutu yang berlaku, sehingga dapat meningkatkan kualitas produk semen sekaligus efisiensi penggunaan bahan baku. Selain itu, penelitian ini juga berkontribusi dalam pengembangan pemanfaatan limbah industri secara berkelanjutan, khususnya dalam mendukung penerapan material konstruksi ramah lingkungan serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan akibat penumpukan *fly ash*.

