

## 1. PENDAHULUAN

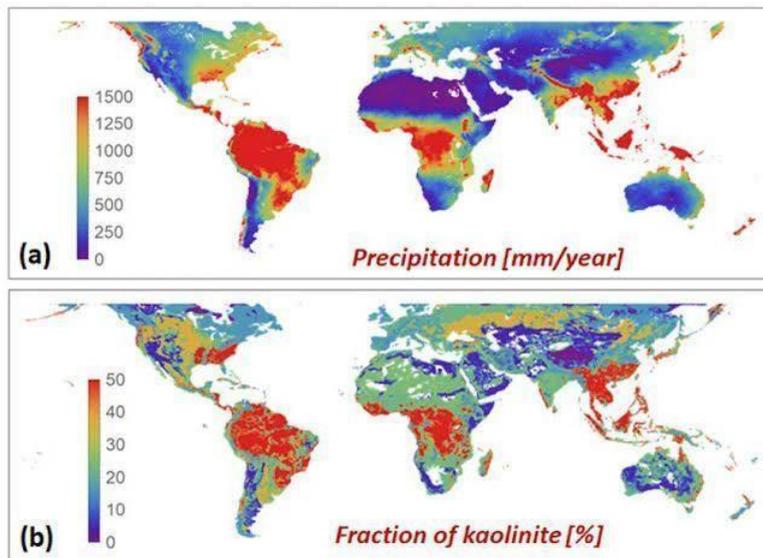
### 1.1 Latar Belakang Masalah

Industri semen memiliki dampak besar terhadap produksi CO<sub>2</sub> secara global. Sekitar 5-7% dari emisi CO<sub>2</sub> global berasal dari pabrik semen dengan sekitar 0.9 ton emisi CO<sub>2</sub> per 1 ton semen (Benhelal et al., 2012). Salah satu cara yang digunakan untuk memproduksi *green concrete* adalah dengan memanfaatkan *cementitious materials* dalam campuran semen, baik sebagai tambahan dalam komposisi campuran maupun sebagai pengganti semen konvensional. *Fly ash (FA)*, *Slag cement/Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS)*, dan *silica fume (SF)* adalah beberapa dari *Supplementary Cementitious Material (SCM)* yang paling sering dan paling banyak digunakan dalam campuran semen. Ketersediaan FA serta GGBFS terbatas serta ketersediaannya akan menurun seiring dengan perubahan pada industri batu bara dan besi.

Pada awal tahun 2000-an didapati bahwa kandungan *clinker* dalam campuran semen sudah tidak lagi berkurang dan penurunan *clinker* dengan penggunaan SCM yang tersedia cukup terbatas seperti pada kasus *fly ash (FA)* yang hanya mampu menggantikan *clinker* secara terbatas karena reaktifitasnya yang lebih rendah (Sharma et al., 2021). Kebutuhan untuk pengurangan penggunaan *clinker* dalam semen serta penurunan ketersediaan yang akan diikuti dengan peningkatan harga FA dan GGBFS akan membuat SCM ini semakin tidak “*cost effective*”. Karena itu diperlukan alternatif lain untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> dari semen, salah satunya adalah dengan memanfaatkan *calcined clay* dan batu kapur (*limestone*) untuk mengurangi kadar *clinker* dalam campuran semen.

*Limestone Calcined Clay Cement (LC3)* adalah campuran semen dengan tambahan batu kapur dan *calcined clay* dengan jumlah tertentu sebagai pengganti sebagian *clinker*. Batu kapur dan tanah liat sudah digunakan dalam pembuatan semen sebagai bahan tambahan serta sebagai SCM. Tanah liat khususnya yang mengandung mineral seperti *kaolinite*, *smectite*, dan *illite* yang telah melalui proses kalsinasi menjadi reaktif dan dapat digunakan sebagai material pengganti sebagian *clinker* (Ayati et al., 2022). Setelah melalui proses kalsinasi, tanah liat berkaolin akan menghasilkan *metakaolin* yang merupakan SCM. LC3 merupakan *ternary blend* dari *clinker*, *calcined clay*, serta *limestone*. Campuran *ternary blend* ini memungkinkan tingkat substitusi *clinker* yang lebih tinggi. Sifat *pozzolanic calcined clay* serta efek *filler* batu kapur bersamaan dengan alumina dari *calcined clay* yang bereaksi dengan *carbonate* dari batu kapur menghasilkan sinergi yang baik pada campuran LC3 (Sharma et al., 2021). Penggunaan

*limestone* dan *calcined clay* sebagai pengganti sebagian *clinker* mampu menurunkan emisi CO<sub>2</sub> dalam produksi semen. Proses kalsinasi tanah liat yang terjadi pada rentang suhu 600-800°C menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> yang lebih sedikit dibandingkan dengan pembuatan *clinker* yang terjadi pada suhu 1450°C (Scrivener et al., 2018). Penambahan *limestone* yang tidak perlu melalui proses pembakaran dalam komposisi LC3 juga turut menurunkan emisi CO<sub>2</sub> dari campuran akhir (LC3).



Gambar 1.1. Peta persebaran tanah liat berkaolin

Sumber: Lehmann et al. (2021). *Clays Are Not Created Equal: How Clay Mineral Type Affects Soil Parameterization*. *Geophysical Research Letters*, p. 2.

Deposit tanah liat berkaolin yang tersedia di dunia, khususnya di Indonesia sangat melimpah seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.1 (Lehmann et al., 2021). Daerah berwarna merah seperti pada kawasan Asia Tenggara memiliki deposit tanah liat dengan kandungan kaolin yang cukup tinggi. Penambangan tanah liat sendiri sebenarnya sudah banyak dilakukan untuk mendapatkan tanah liat bagi berbagai industri seperti bahan baku semen, bahan baku bata merah, porselen, dan lain sebagainya. Pada kenyataannya, hanya tanah liat dengan kualitas *high grade* saja yang digunakan, sedangkan tanah liat dengan kualitas *low grade* atau dinilai tidak layak, dibuang menjadi *waste*. Dalam konteks *limestone calcined clay cement* (LC3), *clay* yang mempunyai kandungan kaolin <40% dapat dikategorikan sebagai *low grade clay*. Salah satu kegunaan kaolin *clay* yang telah dipelajari adalah penggunaannya sebagai bahan baku dalam pembuatan LC3 setelah melalui proses kalsinasi.

Meskipun Pulau Jawa dan khususnya wilayah Jawa Timur tidak termasuk daerah dengan deposit *clay* berkaolin yang banyak berdasarkan Gambar 1.1 namun, hal ini tidak menutup kemungkinan akan adanya tanah liat baik *low grade* maupun *high grade* yang mampu digunakan dalam LC3.

Tanah liat baik yang berkaolin tinggi maupun rendah memiliki potensi dalam penggunaannya sebagai bahan baku LC3. Penggunaan *clay* yang berkaolin rendah, dalam LC3 telah terbukti berhasil. Berbagai penelitian yang dilakukan di berbagai negara seperti India (Gettu et al., 2018) dan Inggris (Ayati et al., 2022) telah menunjukkan potensi dari *low grade kaolinite clay* sebagai SCM dalam LC3. Komposisi tanah liat sangat beragam dan tanah liat yang berasal dari lokasi yang berbeda akan memiliki komposisi yang berbeda juga tidak hanya dalam kandungan kaolinitnya melainkan juga komposisi-komposisi mineral lainnya. Efektifitas *clay* dalam SCM dapat dipengaruhi oleh komposisi mineral yang terkandung dalam tanah liat tersebut, dan kandungan mineral seperti *illite* dan *smectite* juga mampu meningkatkan performa *calcined clay* terutama pada tanah liat yang memiliki kandungan kaolin rendah (Ayati et al., 2022). Sebuah penelitian menggunakan sampel tanah liat yang berasal dari *South-east Europe* dan *East Europe* menunjukkan bahwa LC3-55 dengan kandungan kaolin 41.6% dan 18% mampu mencapai 75% dan 69% kuat tekan dari campuran 100% PC (Ram et al., 2022). Penelitian lain yang lebih mendalami hubungan antara kandungan kaolin pada tanah liat dengan hasil LC3 menunjukkan bahwa LC3-50 dengan kandungan kaolin 40% mampu menyamai kekuatan PC pada umur 7 hari dan kekuatan yang lebih besar pada umur 28 dan 90 hari (Scrivener et al., 2018). Meskipun kandungan kaolin memiliki hubungan yang erat dengan performa LC3 yang dihasilkan namun, tanah liat dengan kandungan kaolin yang sama tidak selalu menghasilkan kekuatan yang sama dalam LC3. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi *clay* baik dalam *low grade kaolinite clay* maupun *high grade kaolinite clay* akan mempengaruhi performa *binder* LC3 yang dihasilkan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menggunakan tanah liat lokal yang tersedia di Jawa Timur dan memanfaatkannya dalam penggunaan *Limestone Calcined Clay Cement*. Kandungan kaolin dalam tanah liat merupakan salah satu faktor terbesar dalam menentukan kualitas LC3 namun kandungan mineral lainnya juga dapat meningkatkan performa *pozzolanic* tanah liat terutama yang telah melalui proses kalsinasi. Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan pada penggunaan *clay* dengan berbagai kandungan kaolin dalam komposisi LC3, tanah liat dari lokasi yang berbeda juga akan memiliki komposisi yang berbeda yang akan mempengaruhi

keberhasilan dan efektivitasnya dalam menjadi SCM pada LC3. Masih belum banyak penelitian LC3 yang memanfaatkan tanah liat yang berasal dari Asia Tenggara khususnya Indonesia. Komposisi dari tanah liat yang tersedia di Jawa Timur juga belum banyak dipelajari dan masih sangat terbuka kemungkinan penggunaannya. Penelitian ini akan mengevaluasi komposisi dari tanah liat yang tersedia di Jawa Timur serta kelayakannya sebagai pengganti semen konvensional melalui teknologi LC3 ditinjau dari ketersediaan serta performanya dalam campuran LC3. Diharapkan penelitian ini dapat mengevaluasi apakah tanah liat lokal dapat digunakan dalam penggunaan LC3 serta membandingkan performanya dengan hasil yang telah diperoleh dari penelitian yang telah ada sebelumnya.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Penelitian ini meneliti tentang beberapa tentang beberapa hal berikut:

1. Seberapa *feasible* pemanfaatan tanah liat lokal daerah Jawa Timur dalam pembuatan LC3?
2. Apakah ada perbedaan performa yang signifikan antara tanah liat lokal *low grade clay* dengan *high grade clay*?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi *feasibility* pemanfaatan tanah liat lokal daerah Jawa Timur dalam pembuatan LC3.
2. Menganalisa performa LC3 berbahan dasar *clay* yang tersedia di Indonesia khususnya di Jawa Timur.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengurangi emisi gas CO<sub>2</sub> dalam proses pembuatan semen.
2. Memanfaatkan tanah liat lokal sebagai bahan baku LC3 untuk mengurangi penggunaan klinker.

## **1.5 Ruang Lingkup Penelitian**

Penelitian ini memiliki batasan-batasan sebagai berikut:

1. *Limestone* yang digunakan diperoleh dari PT Dwi Selo Giri Mas, Kota Sidoarjo, Jawa Timur
2. Semen yang digunakan adalah *Ordinary Portland Cement (OPC)*
3. Klinker yang digunakan diperoleh dari Semen Indonesia Group (SIG), Jl. Veteran No.93, Kabupaten Gresik, Jawa Timur

4. Gypsum diperoleh dari UD. Sumber Ilmiah Persada, Jl. Klampis Aji II Blok SK No. 7, Kota Surabaya, Jawa Timur
5. *Trass* diperoleh dari Semen Indonesia Group (SIG), Jl. Veteran No.93, Kabupaten Gresik, Jawa Timur
6. Kaolin yang digunakan berasal dari UD. Sumber Ilmiah Persada, Jl. Klampis Aji II Blok SK No. 7, Kota Surabaya, Jawa Timur
7. *Clay* lokal yang digunakan terdiri dari 3 jenis yaitu:
  - *Low Grade Clay A* diperoleh dari Proyek Intiland B1 dengan kedalaman 5.30 - 6.00 m
  - *Low Grade Clay B* diperoleh dari Proyek Citraland B2 dengan kedalaman 9.30 – 9.50 m
  - *Clay C* diperoleh dari Desa Sukorejo, Kec. Gandulsari, Kabupaten Trenggalek, Jawa Timur dengan kedalaman di permukaan
8. Pasir yang digunakan untuk mortar adalah pasir silika
9. Jenis Pengujian yang dilakukan:
  - *Initial Setting Time*
  - *Thermogravimetric Analysis (TGA) Test*
  - *Flow Table Test*
  - *X-Ray Diffraction (XRD) Test*
  - Kuat tekan mortar 3, 7, dan 28 hari
  - Kuat lentur mortar 28 hari

#### **1.6 Variabel Penelitian**

Variabel penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Komposisi *Clay*
2. Kadar Kaolin
3. Campuran pada mortar