

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Portland Cement merupakan material yang banyak digunakan pada berbagai keadaan di dunia konstruksi. Namun, industri semen menyumbang 7% emisi CO₂, dengan penyumbang terbesarnya berasal dari produksi klinker (Rodrigues et al., 2022). Berbagai penelitian dilakukan dalam upaya mengurangi emisi CO₂ serta penggunaan energi dari pembuatan semen. Awalnya inovasi difokuskan pada pengurangan energi yang dibutuhkan dalam memproduksi klinker, namun klin modern sudah mencapai efisiensi termodinamis yang maksimal. Penanganan lainnya pun diteliti, seperti efisiensi energi, penggunaan bahan bakar alternatif, pengurangan kandungan klinker, dan *carbon capture*.

Pengurangan kandungan klinker dalam campuran semen dapat dilakukan dengan memanfaatkan *Supplementary Cementitious Material* (SCM). SCM seperti abu terbang, *slag*, sekam padi, *silica fume* sebagai pengganti sebagian semen telah dikembangkan serta terstandarisasi di Eropa, Brazil, dan Amerika Serikat. Namun, ketersediaan SCM seperti *slag* dan sekam padi yang terbatas, kualitas abu terbang yang tidak terkontrol serta reaktivitasnya yang rendah, serta harga *silica fume* dan *slag* yang mahal menyebabkan penggunaan SCM ini tidak efektif (Arora et al., 2022). Maka dari itu diperlukan alternatif lain untuk mengurangi emisi CO₂ dari semen, salah satunya adalah dengan memanfaatkan *calcined clay* dan batu kapur (*limestone*) sebagai pengganti sebagian klinker.

Clay merupakan bahan yang melimpah di Indonesia. *Clay* di Indonesia memiliki kandungan kaolin yang tinggi dikarenakan iklim tropisnya (Lehmann et al., 2021). Di Indonesia, pada umumnya *clay* digunakan pada industri genteng, porselen, keramik, dan bahan baku semen. *Clay* dengan kandungan *kaolinite* telah terbukti mampu bersifat reaktif serta dapat menjadi pengganti sebagian klinker ketika dibakar pada suhu 700 °C – 850 °C (Scrivener et al., 2018). Suhu yang dibutuhkan dalam pembakaran *clay* lebih kecil dibandingkan dalam pembakaran klinker, sehingga energi yang dibutuhkan lebih kecil. Penggunaan *Limestone* yang tidak perlu melalui proses pembakaran juga turut menurunkan emisi CO₂ dan penggunaan energi. Maka dari itu penggunaan *calcined clay* dan *limestone* mampu menghasilkan campuran semen yang lebih ramah lingkungan yang biasa disebut dengan *limestone calcined clay cement* (LC3). Selain reaksi pozzolan yang menghasilkan C-S-H gel, kandungan alumina dari *calcined clay* yang bereaksi dengan kalsium karbonat (CaCO₃) dan kalsium hidroksida (Ca(OH)₂) mampu

menghasilkan carbo aluminat, sehingga meningkatkan kekuatan pada campuran LC3 (Yu et al., 2021).

Dalam upaya mengurangi emisi CO₂ dan penggunaan energi, berbagai penelitian dilakukan untuk mengurangi kandungan klinker dalam LC3. Reaktivitas yang tinggi dari *calcined clay* serta sinerginya dengan *limestone* mampu menghasilkan campuran LC3 dengan kandungan klinker kurang dari 50% yang memenuhi kriteria. Masalah terbesar yang dihadapi pada LC3 dengan kandungan klinker yang rendah ini adalah kandungan Ca(OH)₂ yang dihasilkan juga rendah, menyebabkan metakaolin pada campuran tidak bereaksi (Sun et al., 2024). Ca(OH)₂ merupakan hasil dari reaksi CaO dengan air. CaO merupakan hasil dari pembakaran *limestone*. *Limestone* sendiri merupakan salah satu hasil pertambangan terbanyak di Indonesia (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2021).

Penelitian yang dilakukan oleh Sun et al. (2024) membuktikan bahwa campuran LC3 menggunakan kandungan klinker 35%, 25%, dan 15% dengan *clay* yang memiliki kandungan kaolin 60% mampu menjadi SCM yang efektif. Dalam penelitian ini dibuktikan bahwa campuran LC3 dengan proporsi klinker 35%, *calcined clay* 30%, Limestone 30% mampu mencapai kekuatan tekan 28 hari sebesar 60% terhadap campuran 100% *Ordinary Portland Cement*. Penambahan kalsium hidroksida (CH) menambah kekuatan campuran tersebut sebanyak 10%. Penelitian lain juga dilakukan guna mengkaji pengaruh kandungan kaolinite terhadap kuat tekan beton LC3 dengan hasil yang menunjukkan bahwa semakin rendah kandungan kaolinite pada *clay* maka semakin rendah pula kuat tekannya.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa properti mekanis dari LC3 dengan kandungan klinker 45%, 40%, 35%, dan 30% serta pengaruh dari penambahan Ca(OH)₂ pada campuran dengan kandungan klinker 30%. Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan pada penggunaan *clay* berkaolin tinggi dalam komposisi LC3, masih belum banyak penelitian yang meneliti LC3 dengan kandungan klinker kurang dari 45% serta memanfaatkan Ca(OH)₂. Selain itu penelitian yang memanfaatkan *clay* lokal juga masih minim dilakukan.

Penelitian ini menggunakan *clay* yang didapatkan dari 3 lokasi, yaitu Madiun, Surabaya, dan Trenggalek. *Clay* yang didapatkan kemudian dibakar pada suhu 750°C selama 90 menit. Pengujian mikrostruktur yang dikaji berupa *X-Ray Fluorescence* (XRF), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Diharapkan penelitian ini dapat mengevaluasi apakah LC3 dengan kandungan klinker 45%, 40%, 35%, 30% dan penambahan Ca(OH)₂ pada campuran dengan kandungan klinker 30% mampu meningkatkan properti mekanis dari LC3.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara mendapatkan proporsi campuran LC3 yang efektif dengan kandungan klinker kurang dari 50% menggunakan *calcined clay* dari Jawa Timur ?
2. Bagaimana pengaruh kandungan *kaolinite* pada *clay* di Jawa Timur terhadap sifat mekanis campuran LC3 dengan kandungan klinker kurang dari 50%?
3. Apakah penambahan Ca(OH)_2 berpengaruh terhadap sifat mekanis campuran LC3 dengan kandungan klinker kurang dari 50%?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisa sifat mekanis campuran LC3 yang efektif dengan kandungan klinker kurang dari 50% menggunakan *calcined clay* dari Jawa Timur.
2. Menganalisa pengaruh penambahan Ca(OH)_2 terhadap sifat mekanis LC3 dengan kandungan klinker kurang dari 50%.
3. Menganalisa pengaruh kandungan *kaolinite* pada *clay* di Jawa Timur terhadap sifat mekanis LC3 dengan kandungan klinker kurang dari 50%

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memanfaatkan material *clay* dan *limestone* dari sumber lokal Jawa Timur sebagai campuran pengganti Sebagian semen.
2. Mengurangi emisi gas CO_2 dan penggunaan energi dalam pembuatan semen.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini memiliki batasan-batasan sebagai berikut:

1. Klinker yang diperoleh dari Semen Indonesia Group (SIG), Jl. Veteran No.93, Kabupaten Gresik, Jawa Timur
2. Kaolin murni yang diperoleh dari toko Kimiapeda, Surabaya
3. *Limestone* yang diperoleh dari PT Dwi Selo Giri Mas, Kota Sidoarjo, Jawa Timur
4. Gypsum yang diperoleh dari Toko KIMart Jl. Setro Baru No.16, Kecamatan Tambaksari, Surabaya
5. *Clay* lokal Jawa Timur yang digunakan terdiri dari 3 jenis yaitu:
 - *Clay A* diperoleh dari Bapak Adi dari Trenggalek
 - *Clay B* diperoleh dari Bisma Genteng Karang Pilang, Surabaya
 - *Clay C* diperoleh dari Jawa Timur dengan pengrajin genteng di Madiun

6. Pasir Lumajang
7. Jenis Pengujian yang dilakukan:
 - *Initial Setting Time*
 - Konsistensi Normal
 - *Flow Table Test*
 - *X-Ray Fluorescence (XRF) Test*
 - *X-Ray Diffraction (XRD) Test*
 - *Scanning Electron Microscopy (SEM)*
 - Kuat tekan mortar 7, 14, 28, dan 56 hari
 - Kuat lentur mortar 28 dan 56 hari

1.6 Variabel Penelitian

Variabel penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sumber asal *Clay*
2. Kadar Klinker
3. Penambahan Ca(OH)_2
4. Proporsi campuran mortar LC3