BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri konstruksi, khususnya produksi semen portland merupakan salah satu penyumbang utama emisi karbon dioksida (CO_2) secara global. Sekitar 8% dari total emisi CO_2 dunia berasal dari industri semen, khususnya akibat proses dekomposisi kalsium karbonat ($CaCO_3$) dan tingginya konsumsi energi selama pembakaran klinker (Andrew, 2019). Emisi karbon ini berkontribusi signifikan terhadap pemanasan global dan perubahan iklim, serta berdampak negatif bagi kualitas udara dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan material alternatif yang lebih ramah lingkungan guna mendukung pembangunan berkelanjutan.

Salah satu inovasi yang berkembang dengan pesat adalah beton geopolimer. Material ini merupakan alternatif yang tidak menggunakan semen Portland sebagai pengikat utama, melainkan memanfaatkan bahan-bahan kaya silika dan alumina, seperti abu terbang (*fly ash*), *slag*, atau limbah industri lainnya, yang diaktifkan dengan larutan alkali seperti natrium hidroksida (NaOH) dan natrium silikat (Na_2SiO_3) (Davidovits, 1994). Beton geopolimer telah terbukti memiliki keunggulan berupa kekuatan mekanik yang tinggi, ketahanan terhadap bahan kimia, serta emisi karbon yang jauh lebih rendah dibandingkan beton konvensional.

Pelabuhan Belawan di Sumatera Utara merupakan salah satu pelabuhan tersibuk di Indonesia. Kegiatan pelabuhan menimbulkan sedimentasi yang menyebabkan pendangkalan alur pelayaran, sehingga pengerukan dasar pelabuhan dilakukan secara berkala agar alur pelayaran tetap lancar. Berdasarkan laporan PT

Pelindo I (2023), volume limbah hasil pengerukan di Pelabuhan Belawan mencapai lebih dari 300.000 m^3 per tahun.

Limbah pengerukan pelabuhan memiliki potensi digunakan sebagai bahan baku alternatif pembuatan beton, karena mengandung mineral seperti silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan oksida logam lainnya. Namun, limbah ini sering kali tercemar oleh logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), tembaga (Cu), dan seng (Zn) akibat aktivitas industri, pelayaran, dan limbah domestik di sekitar pelabuhan. Kehadiran logam berat ini menjadi perhatian serius karena sifatnya yang toksik, tahan lama (persisten), dan dapat lepas ke lingkungan melalui proses pelindian (*leaching*), sehingga berisiko mencemari tanah dan air tanah.

Jika limbah pengerukan pelabuhan yang mengandung logam berat tidak dikelola dengan baik, hal ini dapat menimbulkan dampak negatif bagi ekosistem perairan dan kesehatan manusia. Beberapa Logam berat seperti timbal (Pb) dan kadmium (Cd) diketahui bersifat karsinogenik dan dapat terakumulasi dalam rantai makanan (Herschy, 2011). Sehingga berdampak bagi kesehatan masyarakat di sekitar pelabuhan. Dalam penerapannya, aspek keamanan lingkungan menjadi perhatian penting, sehingga pengujian potensi pelepasan logam berat dilakukan dengan merujuk pada standar internasional seperti *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP), serta mengacu pada regulasi nasional, yaitu Peraturan Pemerintah No. 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah B3. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi landasan ilmiah dan praktis dalam merumuskan kebijakan teknis terkait pemanfaatan limbah B3 secara aman, efektif, dan berkelanjutan di sektor konstruksi. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah

pengerukan sebagai bahan baku untuk beton geopolimer selain harus memperhatikan persyaratan teknis dalam konstruksi, serta mempertimbangkan aspek keamanan lingkungan.

Menurut Fansuri et al. (2019), kandungan logam berat dalam limbah pengerukan pelabuhan dapat mempengaruhi rekasi geopolimerisasi dan kualitas mekanik beton geopolimer. Hal ini menunjukkan, pentingnya untuk memperhatikan pengaruh logam berat tersebut dalam perancangan campuran beton berbahan limbah agar performa dan keamanan lingkungan beton tetap optimal.

Penelitian ini untuk membandingkan pengaruh dua parameter penting dalam pembuatan beton geopolimer, yaitu volume abu terbang (*fly ash*) dan molaritas larutan aktivator alkali (NaOH dan Na_2SiO_3). Jumlah gel geopolimer yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh volume abu terbang (*fly ash*) yang digunakan sebagai sumber utama silika dan alumina. Penggunaan abu terbang (*fly ash*) dalam jumlah yang terlalu sedikit dapat mengakibatkan reaksi geopolimerisasi yang tidak optimal, sedangkan penggunaan yang berlebihan dapat menghambat proses pengerasan dan menurunkan kekuatan beton. Sehingga, penentuan volume abu terbang (*fly ash*) yang tepat sangat penting untuk mencapai performa optimal. Selain itu, tingkat molaritas larutan aktivator alkali juga memiliki peran signifikan terhadap kecepatan dan efektivitas reaksi geopolimerisasi. Molaritas yang terlalu rendah berpotensi menghasilkan beton dengan kekuatan rendah karena rekasi tidak optimal. Sebaliknya, molaritas yang terlalu tinggi dapat menyebabkan berbagai masalah, seperti segregasi, pengerasan yang terlalu cepat, dan potensi pelepasan logam berat dari struktur beton. Kombinasi antara molaritas alkali dan jumlah abu

terbang (*fly ash*) yang tepat dapat memengaruhi sifat akhir beton, baik dari segi kekuatan tekan maupun kestabilan lingkungan terkait logam berat yang terkandung didalamnya.

Dengan permasalahan tersebut maka penelitian ini bertujuan mendukung pengelolaan limbah yang ramah lingkungan melalui pemanfaatan limbah pengerukan pelabuhan sebagai bahan baku beton geopolimer. Oleh karena itu dilakukanlah penelitian dengan judul "**Perbandingan Pengaruh antara Volume Abu Terbang dengan Molaritas Alkali Aktivator Terhadap Performa dari Beton Geopolimer Berbahan Limbah Pengerukan Pelabuhan"** dengan fokus utama penelitian ini adalah menganalisis perbandingan pengaruh volume abu terbang (*fly ash*) dengan molaritas larutan alkali aktivator (NaOH dan Na_2SiO_3) terhadap sifat dan performa beton yang dihasilkan.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan, maka diidentifikasi masalah sebagai berikut:

a. Limbah pengerukan di Pelabuhan Belawan dihasilkan dalam jumlah besar setiap tahun, namun pemanfaatannya masih terbatas. Kandungan logam berat dalam sedimen yang melebih batas regulatif PP No. 101 Tahun 2014 menunjukkan perlunya pengelolaan yang cermat agar pemanfaatannya sebagai bahan konstruksi dapat dilakukan secara aman.
b. Abu terbang (*fly ash*) merupakan bahan alternatif yang memiliki reaktivitas tinggi dalam pembuatan beton geopolimer. Namun, campuran antara abu terbang (*fly ash*) dan limbah pengerukan memerlukan periode waktu

pengerasan yang lebih lama dibanding beton konvensional. Persentase abu terbang (*fly ash*) yang ideal sangat diperlukan agar beton yang dihasilkan tetap memenuhi syarat yang sudah berlaku.

c. Molaritas aktivator alkali (NaOH dan Na_2SiO_3) berpengaruh signifikan terhadap kecepatan dan ekeftivitas reaksi geopolimerisasi. Molaritas yang terlalu rendah menghasilkan beton dengan kekuatan rendah, sedangkan molaritas yang terlalu tinggi dapat menyebabkan masalah pada campuran beton.

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang sudah dikemukakan diatas maka perlu adanya pembatas masalah yang akan di teliti:

a. Penelitian ini berfokus pada pemanfaatan limbah pengerukan pelabuhan Belawan sebagai subsitusi agregat halus sebesar 10%.
b. Rasio parameter yang diuji adalah abu terbang (*fly ash*) dan molaritas alkali aktivator massa antara sodium silikat (Na_2SiO_3) dengan sodium hidroksida (NaOH) adalah sebesar 2:1.
c. Pengujian *leaching* logam berat dilakukan menggunakan metode TCLP *(Toxicity Characteristic Leaching Procedure)* untuk mengetahui karakteristik awal kandungan logam berat sebagai dasar evaluasi potensi resiko terhadap lingkungan dari penggunaan sedimen mentah Pelabuhan Belawan sebelum pencampuran, dan tidak dilakukan pada beton geopolimer pasca keras.

1.4 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang di uraikan sebelumnya, dapat dirumuskan masalah antara lain:

a. Bagaimana pengaruh variasi volume abu terbang (*fly ash*) terhadap kuat tekan beton geopolimer berbahan limbah pengerukan pelabuhan?
b. Bagaimana pengaruh molaritas alkali aktivator (NaOH dan Na_2SiO_3) terhadap kuat tekan beton geopolimer berbahan limbah pengerukan pelabuhan?
c. Apakah parameter yang lebih dominan antara volume abu terbang (*fly ash*) atau molaritas alkali aktivator dalam meningkatkan performa beton geopolimer berbahan limbah pengerukan pelabuhan?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah:

a. Untuk menganalisis pengaruh variasi volume abu terbang (*fly ash*) terhadap kuat tekan beton geopolimer berbahan limbah perngerukan pelabuhan.
b. Untuk menganalisis pengaruh molaritas larutan alkali aktivator (NaOH dan Na_2SiO_3) terhadap kuat tekan beton geopolimer berbahan limbah pengerukan pelabuhan.
c. Untuk mengetahui kombinasi variasi volume abu terbang (*fly ash*) dan molaritas alkali aktivator yang menghasilkan kuat tekan optimal pada beton geopolimer berbahan limbah pengerukan pelabuhan.

1.6 Manfaat Penelitian

Setelah dilakukan penelitian ini tentunya masih banyak kekurangan akan tetapi diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat.

a. Memberikan data ilmiah mengenai pengaruh volume abu terbang (*fly ash*) dan molaritas alkali terhadap kuat tekan beton geopolimer yang menggunakan limbah pengerukan pelabuhan.
b. Mengetahui karakteristik awal limbah pengerukan pelabuhan Belawan melalui uji TCLP, sebagai dasar evaluasi keamanan lingkungan.
c. Menjadi bahan referensi bagi penelitian lanjutan terkait manfaat sedimen pelabuhan sebagai bahan konstruksi, khususnya dalam aspek mekanik dan kajian lingkungan.

UNIMED
THE Character Building UNIVERSITY