

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Industri pelabuhan merupakan salah satu sektor yang mengalami pertumbuhan pesat di negara-negara berkembang, termasuk Indonesia. Sebagai bagian penting dari infrastruktur transportasi laut, pelabuhan berperan penting dalam mendukung konektivitas antar pulau, kegiatan perdagangan serta distribusi logistik nasional (Rijulvita dkk., 2023). Meskipun demikian, perkembangan industri pelabuhan juga menimbulkan tantangan lingkungan yang signifikan (Barraza dkk., 2024).

Salah satu permasalahan utama yang sering terjadi di pelabuhan adalah akumulasi sedimen di area kolam pelabuhan yang mengakibatkan penurunan kedalaman perairan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) pada tahun 1991, sedimentasi ini tidak hanya menghambat kelancaran navigasi kapal, tetapi juga menimbulkan degradasi lingkungan akibat tertutupnya dasar ekosistem perairan. Terlebih lagi sedimen yang terbawa dari sungai umumnya mengandung limbah industri dan domestik, sehingga meningkatkan potensi pencemaran lingkungan perairan. Untuk mencegah gangguan terhadap akses kapal yang masuk dan keluar pelabuhan, pengerukan rutin perlu dilakukan guna menjaga kedalaman perairan (Silitonga, 2016). Namun, proses pengerukan limbah yang berasal dari lokasi industri yang terkontaminasi dapat berdampak negatif terhadap lingkungan sekitar melalui penyebaran kontaminan seperti logam berat (arsenik, kadmium, merkuri, dll) serta zat beracun

yang dihasilkan dari interaksi logam ke dalam tanah dan air tanah (Solanki dkk., 2023). Pengelolaan limbah termasuk proses pembuangan dan penyimpanannya memerlukan biaya yang signifikan dari segi energi maupun keuangan, sementara volume limbah yang dikeruk terus meningkat setiap tahunnya (Barraza dkk., 2024).

**Tabel 1.1** Volume total Pengerukan Pelabuhan di Indonesia

Tahun	Volume (m <sup>3</sup> )
2017	605.922
2018	1.769.682
2019	1.638.277
2020	1.680.000
2021	2.800.000
2022	3.818.692

Sumber: Laporan Tahunan PT.Pengerukan Indonesia (Rukindo)

Tabel 1.1 menunjukkan bahwa total volume pengerukan pelabuhan di Indonesia mencapai 3.818.692 m<sup>3</sup>, yang menunjukkan jumlah yang substansial. Beberapa peneliti telah berupaya memanfaatkan limbah industri maupun material hasil pengerukan pelabuhan sebagai alternatif bahan konstruksi yang berpotensi mendukung pembangunan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Bhairappanavar dkk., 2021) menunjukkan bahwa limbah pengerukan dapat digunakan sebagai pengganti tanah liat dalam produksi batu bata, selama parameter teknisnya dikendalikan secara tepat. Pemanfaatan semacam ini dapat menjadi solusi untuk mengurangi dampak lingkungan sekaligus mengatasi permasalahan limbah.

Sejalan dengan pendekatan berkelanjutan tersebut, geopolimer menjadi alternatif baru dalam industri konstruksi, termasuk pada pembuatan aspal beton. Geopolimer merupakan material berbasis silika dan alumina yang diaktivasi oleh

larutan alkali. Salah satu bahan yang kaya akan silika dan alumina adalah *fly ash*, limbah hasil pembakaran batu bara di PLTU yang juga menjadi sumber pencemar lingkungan jika tidak dikelola. Kombinasi antara *fly ash* dan limbah sedimen pengerukan pelabuhan membuka peluang baru dalam pengembangan aspal beton geopolimer yang lebih ramah lingkungan. Agar reaksi geopolimerisasi berjalan optimal, dibutuhkan alkali aktivator seperti natrium hidroksida (NaOH). NaOH mampu melarutkan senyawa silika dan alumina dari material limbah sehingga membentuk jaringan polimer yang kuat. Material ini berpotensi menggantikan sebagian fungsi bahan pengikat dalam campuran aspal konvensional, dengan karakteristik mekanik yang kompetitif.

Dalam aplikasinya pada perkerasan jalan, sifat mekanik seperti kekuatan lentur menjadi aspek penting yang menentukan daya tahan material terhadap beban kendaraan (Latif dkk., 2021). Oleh karena itu, pengujian kuat lentur dengan metode *three-point bending* menjadi hal penting untuk mengevaluasi kinerja aspal beton geopolimer terhadap beban berulang yang terjadi di lapangan. Selain itu, sifat seperti porositas juga berpengaruh terhadap durabilitas campuran terhadap pengaruh lingkungan seperti air, bahan kimia dan perubahan suhu.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh penggunaan variasi limbah sedimen pengerukan pelabuhan dan *fly ash* pada campuran aspal beton geopolimer yang diaktivasi dengan NaOH terhadap kuat lentur menggunakan metode *three-point bending*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dan praktis dalam pengembangan material jalan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

## 1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, terdapat beberapa permasalahan dalam pengaruh variasi sedimen pengerukan pelabuhan terhadap kuat lentur aspal beton geopolimer berbasis *fly ash* dengan aktivator NaOH, yaitu:

1. Limbah pengerukan pelabuhan berpotensi digunakan sebagai material campuran aspal beton geopolimer, namun kandungan logam beratnya memerlukan pengkajian lebih lanjut terhadap kelayakan teknis dan lingkungan.
2. Belum diketahui batas maksimal persentase limbah pengerukan yang dapat digunakan dalam campuran aspal beton agar tetap memenuhi standar konstruksi jalan.
3. Konsentrasi alkali aktivator NaOH perlu dioptimalkan untuk memperoleh kuat lentur *three-point bending* sesuai standar sekaligus efisien secara ekonomi.
4. Diperlukan penelitian untuk memastikan bahwa pencampuran limbah pengerukan pelabuhan dengan NaOH dalam aspal beton dapat menghasilkan material yang layak secara teknis untuk digunakan pada konstruksi jalan raya.

## 1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi permasalahan yang telah dijelaskan di atas, maka ruang lingkup permasalahan dalam penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Penelitian hanya akan berfokus pada penggunaan limbah pengerukan pelabuhan yang telah dikeringkan dan tidak membahas aspek toksisitas logam berat secara detail.
2. Penelitian ini membatasi variasi persentase limbah pengerukan yang digunakan dibatasi pada 10% dan 20% dari total campuran sebagai substitusi agregat halus dalam aspal beton geopolimer.
3. Penelitian berfokus pada konsentrasi NaOH pada variasi 10 dan 12 M untuk mengetahui pengaruhnya terhadap reaksi geopolimerisasi dan kuat lentur aspal beton geopolimer berdasarkan metode *three-point bending*.

#### 1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi dan batasan masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi persentase limbah pengerukan pelabuhan (10% dan 20%) terhadap kuat lentur aspal beton geopolimer?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi NaOH (10 M dan 12 M) sebagai alkali aktivator terhadap hasil reaksi geopolimerisasi dan kuat lentur aspal beton?
3. Apakah kombinasi variasi limbah pengerukan dan konsentrasi NaOH mampu menghasilkan aspal beton geopolimer yang memenuhi standar teknis untuk konstruksi jalan berdasarkan uji *three-point bending*?

#### 1.5. Tujuan

Berikut adalah tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini berdasarkan rumusan masalah di atas, yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi persentase limbah pengerukan pelabuhan (10% dan 20%) terhadap kuat lentur aspal beton geopolimer.
2. Memperoleh pengaruh konsentrasi alkali aktivator NaOH (10 M dan 12 M) terhadap reaksi geopolimerisasi dan kuat lentur aspal beton geopolimer.
3. Menentukan apakah kombinasi variasi limbah pengerukan pelabuhan dan konsentrasi NaOH dapat menghasilkan aspal beton geopolimer yang memenuhi standar teknis konstruksi jalan berdasarkan pengujian kuat lentur dengan metode *three-point bending*.

#### 1.6. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut: manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Memberi solusi inovatif untuk memanfaatkan limbah pengerukan dalam aspal beton geopolimer, mengurangi dampak lingkungan dan mendukung konstruksi berkelanjutan.
2. Memberikan referensi dalam pengembangan material jalan raya yang lebih ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah industri dan mengurangi ketergantungan pada bahan baku alami seperti agregat dan semen konvensional.
3. Dapat menjadi referensi bagi industri dan pemerintah dalam menyusun regulasi serta spesifikasi teknis untuk pemanfaatan limbah pengerukan dalam pekerjaan jalan raya.