

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur jalan merupakan bagian penting dari upaya pembangunan nasional yang bertujuan untuk meningkatkan konektivitas antarwilayah, mendukung pertumbuhan ekonomi, serta memperbaiki kualitas hidup masyarakat. Jalan berfungsi sebagai sarana vital untuk distribusi barang dan jasa, mobilitas manusia, serta akses ke berbagai fasilitas publik seperti pendidikan, kesehatan, dan pusat perekonomian. Selain itu, keberadaan infrastruktur jalan yang memadai juga dapat mendorong pertumbuhan investasi, mengurangi biaya logistik, dan mempercepat distribusi hasil produksi ke pasar, sehingga meningkatkan daya saing suatu daerah.

Pembangunan infrastruktur jalan memiliki peran strategis dalam mendukung pembangunan nasional. Infrastruktur ini bertujuan untuk menghubungkan berbagai wilayah, mempermudah distribusi barang dan jasa, serta meningkatkan mobilitas masyarakat. Dengan konektivitas yang baik, aktivitas ekonomi dan sosial dapat berjalan lebih efektif dan efisien. Jalan bukan sekadar jalur transportasi, tetapi juga menjadi tulang punggung bagi aktivitas ekonomi suatu wilayah. Infrastruktur yang memadai memastikan distribusi barang dari pusat produksi ke pasar berjalan lancar, sehingga mengurangi risiko keterlambatan dan meningkatkan efisiensi distribusi. Selain fungsi ekonomi, jalan juga berperan dalam mendukung akses masyarakat ke berbagai layanan publik penting. Layanan seperti pendidikan, kesehatan, dan administrasi pemerintahan dapat diakses dengan lebih mudah jika infrastruktur jalan dalam kondisi baik.

Infrastruktur jalan yang baik tidak hanya memfasilitasi pergerakan manusia dan barang tetapi juga mendorong pertumbuhan investasi. Investor cenderung lebih tertarik pada daerah dengan akses jalan yang memadai karena logistik yang lebih efisien dan biaya operasional yang lebih rendah. Salah satu manfaat signifikan dari pembangunan infrastruktur jalan adalah pengurangan biaya logistik. Dengan akses jalan yang baik, pengiriman barang menjadi lebih cepat, hemat biaya, dan dapat meningkatkan profitabilitas pelaku usaha. Jalan yang berkualitas juga memainkan peran penting dalam mempercepat distribusi hasil produksi ke pasar. Hal ini memastikan produk dapat tiba dalam kondisi baik dan tepat waktu, sehingga meningkatkan daya saing produk di pasar lokal maupun global. Infrastruktur jalan yang memadai dapat berkontribusi dalam mengurangi kesenjangan antarwilayah. Daerah terpencil atau terisolasi akan memiliki akses yang lebih baik ke pusat ekonomi dan layanan publik, sehingga meningkatkan kesejahteraan masyarakat setempat. Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, infrastruktur jalan yang direncanakan dengan baik dapat meminimalkan dampak lingkungan. Penggunaan teknologi ramah lingkungan dan material yang berkelanjutan akan memastikan pembangunan yang berkesinambungan.

Selain dampak ekonomi dan lingkungan, pembangunan infrastruktur jalan juga meningkatkan kualitas hidup masyarakat. Jalan yang baik memungkinkan mobilitas yang aman dan nyaman, serta mendukung aktivitas sehari-hari seperti pergi ke sekolah, bekerja, atau mendapatkan layanan kesehatan. Secara keseluruhan, infrastruktur jalan yang memadai memainkan peran penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi, meningkatkan konektivitas antarwilayah, serta memperbaiki akses terhadap layanan publik. Oleh karena itu, investasi yang berkelanjutan dalam pembangunan dan pemeliharaan jalan sangat penting untuk mencapai tujuan pembangunan nasional yang inklusif dan berkelanjutan.

Infrastruktur jalan memiliki peran strategis dalam pembangunan suatu negara. Jalan yang baik dapat meningkatkan mobilitas dan aksesibilitas masyarakat, membuka peluang investasi di daerah terpencil, mempermudah akses ke fasilitas pendidikan dan kesehatan, serta

mengurangi kesenjangan pembangunan antarwilayah. Selain itu, infrastruktur jalan yang memadai juga berperan penting dalam mendukung pengembangan sektor pariwisata dan memperluas jaringan perdagangan antar daerah.

Proses pembangunan jalan melibatkan beberapa tahapan yang sistematis. Tahap awal adalah perencanaan yang mencakup penentuan lokasi, jenis jalan, dan studi kelayakan. Tahap berikutnya adalah desain teknis yang melibatkan pemilihan material konstruksi serta perencanaan struktur jalan yang berkelanjutan. Setelah itu, dilakukan proses pembebasan lahan untuk memastikan ketersediaan lokasi pembangunan. Tahap konstruksi dilakukan dengan mengikuti spesifikasi teknis yang telah ditetapkan, dan tahap terakhir adalah pemeliharaan rutin agar jalan tetap berfungsi dengan baik dan memiliki umur yang panjang.

Dalam pembangunan jalan, teknologi dan material memainkan peran penting dalam memastikan efisiensi dan daya tahan jalan. Teknologi modern seperti *Warm Mix Asphalt (WMA)* dan metode *Recycling Asphalt Pavement (RAP)* membantu mengurangi biaya konstruksi, meningkatkan kualitas jalan, serta meminimalkan dampak lingkungan. Material berkualitas seperti agregat kasar, agregat halus, semen Portland, dan aditif kimia digunakan untuk memastikan struktur jalan yang kuat dan tahan lama.

Namun, pembangunan infrastruktur jalan juga menghadapi berbagai tantangan. Salah satu tantangan utama adalah keterbatasan anggaran yang sering kali menghambat proses konstruksi dan pemeliharaan. Selain itu, masalah kualitas konstruksi yang rendah akibat penggunaan material yang tidak sesuai spesifikasi juga kerap terjadi. Proses pembebasan lahan yang kompleks sering kali menimbulkan konflik dengan masyarakat setempat, sementara cuaca ekstrem dan beban lalu lintas yang tinggi mempercepat kerusakan jalan dan meningkatkan biaya pemeliharaan.

Dampak pembangunan jalan sangat luas, baik dari segi ekonomi, sosial, maupun lingkungan. Secara ekonomi, pembangunan jalan dapat meningkatkan produktivitas, mengurangi biaya transportasi, dan membuka peluang investasi. Secara sosial, infrastruktur jalan mempermudah akses masyarakat ke layanan kesehatan, pendidikan, dan lapangan pekerjaan. Namun, jika tidak dikelola dengan baik, pembangunan jalan dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti erosi tanah, deforestasi, dan pencemaran lingkungan.

Pembangunan jalan berkelanjutan menjadi solusi penting untuk mengatasi berbagai tantangan tersebut. Konsep ini menekankan keseimbangan antara pembangunan ekonomi, perlindungan lingkungan, dan kesejahteraan sosial. Hal ini dapat dicapai melalui penggunaan teknologi ramah lingkungan, pemanfaatan material daur ulang, penerapan sistem drainase yang baik, serta pengawasan ketat terhadap dampak lingkungan selama proses pembangunan.

Secara keseluruhan, pembangunan infrastruktur jalan bukan hanya tentang membangun jalur transportasi, tetapi juga tentang membangun fondasi untuk kemajuan ekonomi, sosial, dan lingkungan suatu wilayah. Dengan perencanaan yang matang, penggunaan teknologi modern, serta manajemen yang transparan dan berkelanjutan, pembangunan jalan dapat memberikan manfaat jangka panjang bagi masyarakat dan negara. Oleh karena itu, investasi pada infrastruktur jalan harus menjadi prioritas dalam agenda pembangunan nasional.

Pembangunan infrastruktur jalan dengan menggunakan perkerasan kaku semakin banyak diterapkan karena beberapa keunggulannya, seperti daya tahan yang tinggi dan biaya pemeliharaan yang lebih rendah. Namun, pembuatan jalan beton memerlukan jumlah semen yang sangat besar. Penggunaan semen Portland dalam skala besar berdampak negatif pada lingkungan, terutama dalam konteks pemanasan global. Proses kalsinasi yang terjadi saat produksi semen melibatkan pemanasan batu kapur (CaCO_3) pada suhu tinggi untuk menghasilkan kalsium oksida (CaO) dan karbon dioksida (CO_2). Proses ini bertanggung jawab atas sekitar 60% dari total emisi CO_2 yang dihasilkan oleh industri semen. Setiap ton semen

Portland yang diproduksi akan melepaskan sekitar satu ton emisi CO₂ ke atmosfer (Sengkey et al., 2023).

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil batu bara terbesar di dunia. Dengan melimpahnya sumber daya alam ini, produksi batu bara di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya. Pada tahun 2016, produksi batu bara nasional tercatat mencapai 419 juta ton, sebuah angka yang menunjukkan peran signifikan Indonesia dalam pasar energi global. Namun, tingginya produksi batu bara ini juga berdampak pada meningkatnya jumlah limbah hasil pembakaran batu bara, yang dikenal sebagai *fly ash* dan bottom ash (FABA).

Seiring dengan bertambahnya jumlah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batu bara di berbagai wilayah Indonesia, produksi limbah abu batu bara juga semakin meningkat. Menurut data dari Kementerian Lingkungan Hidup (KLH), setiap ton batu bara yang dibakar akan menghasilkan limbah abu batu bara berupa *fly ash* sekitar 15%-17% dari total berat batu bara yang digunakan (Nursilawati, 2018). Angka ini memberikan gambaran bahwa sebagian besar batu bara yang dibakar akan meninggalkan residu yang memerlukan pengelolaan yang baik agar tidak menimbulkan dampak lingkungan yang serius.

Pada tahun 2019, kebutuhan batu bara untuk PLTU di Indonesia mencapai 97 juta ton. Dari jumlah tersebut, diperkirakan produksi limbah *fly ash* dan bottom ash (FABA) mencapai sekitar 9,7 juta ton. Limbah ini, jika tidak dikelola dengan baik, dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan, termasuk pencemaran udara, tanah, dan air. Namun, di sisi lain, limbah ini memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan material konstruksi, seperti beton dan *paving block*.

Melihat tren peningkatan konsumsi batu bara, proyeksi pada tahun 2028 menunjukkan bahwa kebutuhan batu bara untuk PLTU di Indonesia diperkirakan akan melonjak menjadi 153 juta ton. Sejalan dengan peningkatan tersebut, produksi limbah FABA diprediksi akan mencapai 15,3 juta ton (Denis, 2021). Data ini menegaskan pentingnya inovasi dalam pengelolaan limbah batu bara untuk meminimalkan dampak lingkungan dan sekaligus mengoptimalkan potensi pemanfaatannya sebagai bahan baku alternatif dalam industri konstruksi.

Dengan adanya angka-angka ini, terlihat jelas bahwa pengelolaan limbah batu bara, terutama *fly ash* dan bottom ash, bukan hanya menjadi isu lingkungan semata, tetapi juga peluang untuk menciptakan nilai tambah dalam berbagai sektor, khususnya dalam pembangunan infrastruktur berkelanjutan di Indonesia. Upaya pemanfaatan limbah batu bara, seperti dalam pembuatan *paving block* atau material konstruksi lainnya, menjadi salah satu solusi yang dapat diimplementasikan untuk mengurangi dampak negatif dan mendukung pembangunan berkelanjutan di masa depan.

Pemanfaatan kembali limbah *fly ash* dari hasil pembakaran batu bara membawa berbagai manfaat yang signifikan, tidak hanya dari segi lingkungan tetapi juga ekonomi. Salah satu manfaat utamanya adalah mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari proses produksi semen Portland, yang dikenal sebagai salah satu sumber utama emisi karbon di industri konstruksi. Selain itu, pemanfaatan *fly ash* juga membantu mengurangi akumulasi limbah yang jika dibiarkan dapat mencemari lingkungan, serta mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam, terutama semen Portland yang bahan bakunya memerlukan proses produksi dengan konsumsi energi tinggi dan berdampak besar pada lingkungan.

Sayangnya, hingga saat ini, penggunaan *fly ash* dalam sektor konstruksi masih terbilang terbatas meskipun material ini memiliki sifat pozzolanik yang sangat baik. Sifat pozzolanik pada *fly ash* membuatnya mampu bereaksi dengan kalsium hidroksida dalam beton untuk membentuk senyawa yang bersifat lebih stabil dan tahan lama. Dengan ukuran partikel yang lebih halus dibandingkan semen Portland, serta sifatnya yang bersifat hidrolik, *fly ash* memiliki potensi besar untuk menggantikan sebagian semen dalam pembuatan material konstruksi seperti beton dan *paving block*.

Penelitian terdahulu, seperti yang dilakukan oleh Winarno et al. (2019), menunjukkan bahwa *fly ash* dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton hingga kadar 50% tanpa mengurangi kekuatan struktural beton secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa *fly ash* bukan hanya sebagai material pengisi tetapi juga berperan aktif dalam meningkatkan kinerja beton dari segi kekuatan tekan, daya tahan, dan stabilitas struktural.

Di antara berbagai produk beton pracetak, *paving block* merupakan salah satu yang paling umum digunakan dalam proyek-proyek konstruksi, baik untuk keperluan infrastruktur publik maupun proyek komersial. Permintaan *paving block* di berbagai wilayah, termasuk di kawasan industri seperti Gresik, terus meningkat setiap tahunnya. Peningkatan ini secara tidak langsung juga berkontribusi pada meningkatnya emisi karbon, mengingat tingginya proporsi semen yang digunakan dalam produksi *paving block*.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dalam pembuatan *paving block*. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan dua manfaat utama: pertama, mengurangi limbah hasil pembakaran batu bara yang saat ini menjadi salah satu tantangan besar dalam pengelolaan lingkungan, dan kedua, menekan emisi karbon yang dihasilkan dari proses produksi semen. Dengan demikian, penerapan *fly ash* dalam produksi *paving block* diharapkan tidak hanya memberikan solusi terhadap permasalahan limbah, tetapi juga menjadi langkah konkret menuju pembangunan infrastruktur yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan..

Fly ash dikenal sebagai material yang kaya akan kandungan silika (SiO_2) dan aluminium oksida (Al_2O_3), yang memungkinkannya untuk bereaksi dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) pada suhu kamar di bawah kondisi lembap. Reaksi ini menghasilkan senyawa hidrat dengan sifat pengikat yang kuat dan stabil. Struktur Si-O-Al yang terbentuk dari proses hidrasi ini memainkan peran penting dalam meningkatkan kekuatan mekanis dan daya tahan struktural pada produk konstruksi seperti *paving block* (Parkhan, 2022). Selain itu, *paving block* yang diproduksi dengan substitusi sebagian semen menggunakan *fly ash* juga memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menjaga keseimbangan air tanah, meningkatkan stabilitas fondasi, serta memungkinkan penyerapan air yang optimal ke dalam tanah di sekitarnya (Harystama et al., 2020).

Dari perspektif ekonomi, pemanfaatan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen dalam produksi *paving block* menawarkan potensi efisiensi yang signifikan. *fly ash* merupakan limbah industri yang tersedia dalam jumlah besar dan sering dianggap sebagai produk sampingan yang tidak memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Dengan mengintegrasikan *fly ash* ke dalam produksi *paving block*, produsen dapat menekan biaya produksi, mengurangi ketergantungan pada semen Portland, yang harganya cenderung fluktuatif dan relatif mahal. Oleh karena itu, pemanfaatan *fly ash* bukan hanya solusi ramah lingkungan tetapi juga strategi yang efektif dalam meningkatkan daya saing ekonomi produk konstruksi.

Dalam penelitian ini, dilakukan berbagai pengujian untuk mengevaluasi kualitas *paving block* yang dihasilkan dengan substitusi *fly ash*. Pengujian pertama adalah uji kuat tekan, yang bertujuan untuk mengetahui sejauh mana *paving block* mampu menahan beban tekan sebelum mengalami keretakan atau kerusakan struktural. Pengujian kedua adalah uji daya serap air, yang berfokus pada kemampuan *paving block* dalam menyerap air tanpa menyebabkan degradasi kekuatan strukturalnya. Sementara itu, uji ketahanan aus dilakukan untuk menilai ketahanan permukaan *paving block* terhadap gesekan dan abrasi akibat lalu lintas kendaraan atau faktor eksternal lainnya. Hasil dari pengujian ini akan memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang kualitas dan daya tahan *paving block* yang dihasilkan dengan penggunaan *fly ash*.

Selain aspek teknis, penelitian ini juga menyoroti pentingnya aspek lingkungan dalam produksi *paving block* berbasis *fly ash*. Dengan menggantikan sebagian semen dengan *fly ash*,

diharapkan terjadi pengurangan yang signifikan dalam emisi karbon yang dihasilkan selama proses produksi. Hal ini menjadi kontribusi penting dalam upaya global untuk mengurangi dampak perubahan iklim, serta mendukung praktik pembangunan berkelanjutan yang lebih bertanggung jawab terhadap lingkungan.

Namun, penerapan *fly ash* dalam produksi *paving block* memerlukan kontrol kualitas yang ketat. Setiap tahapan produksi, mulai dari proporsi campuran material, metode pencampuran, hingga proses curing (perawatan pasca produksi), harus dilakukan dengan teliti. Proses curing memegang peranan penting dalam memastikan kekuatan akhir produk, terutama karena *fly ash* memiliki waktu hidrasi yang lebih lama dibandingkan semen Portland. Oleh karena itu, proses curing yang tepat dan konsisten menjadi kunci dalam mencapai kualitas *paving block* yang optimal dan memenuhi standar kekuatan yang diinginkan.

Secara keseluruhan, pemanfaatan *fly ash* dalam pembuatan *paving block* bukan hanya menawarkan solusi terhadap masalah lingkungan, tetapi juga membuka peluang untuk meningkatkan efisiensi ekonomi dan kualitas produk secara keseluruhan. Dengan pendekatan yang tepat, *fly ash* dapat menjadi material yang berharga dalam mendukung inovasi di sektor konstruksi berkelanjutan. Di sisi lain, penerapan *fly ash* dalam *paving block* juga memerlukan penelitian lebih lanjut terkait dampaknya terhadap lingkungan mikro dan jangka panjang. Faktor seperti pelepasan zat kimia dari *fly ash* dan potensi pencemaran air tanah perlu dianalisis secara mendalam agar produk yang dihasilkan benar-benar aman bagi lingkungan.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah *fly ash*, sekaligus menjadi solusi alternatif untuk mengurangi ketergantungan pada semen Portland. Dengan pengelolaan yang tepat, *fly ash* tidak hanya dapat mengurangi limbah industri tetapi juga berpotensi menjadi sumber pendapatan baru bagi masyarakat sekitar dan mendukung pembangunan berkelanjutan di Indonesia. Lebih lanjut, kolaborasi antara industri, akademisi, dan pemerintah sangat penting untuk memastikan bahwa pemanfaatan *fly ash* dapat diimplementasikan secara efektif dan berkelanjutan. Inovasi teknologi dalam pemrosesan *fly ash* juga diperlukan untuk meningkatkan kualitas produk akhir *paving block* dan memastikan kesesuaian dengan standar nasional maupun internasional.

Pada penelitian ini membahas *fly ash* sebagai substitusi semen pada *paving block* dimana tujuan penggunaan *fly ash* sendiri untuk membandingkan nilai uji kuat tekan, uji daya serap air, dan uji aus pada *paving block* dengan menambahkan *fly ash* menggunakan variasi campuran yang berbeda-beda dengan campuran normal. Penelitian ini diharapkan bisa menjadi acuan untuk pembuatan *paving block* dengan pemanfaatan *fly ash* dari limbah pembakaran batu bara yang sudah tidak terpakai. Maka dengan pengelolaan yang tepat, limbah pembakaran batu bara ini bukan hanya dapat mengurangi pencemaran lingkungan, tetapi juga dapat menjadi sumber pendapatan baru bagi masyarakat sekitar. Oleh karena itu, penulis melakukan penelitian dengan judul “ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH PEMBAKARAN BATU BARA SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN PADA PENGGUNAAN CAMPURAN *paving block*”. Dengan memanfaatkan limbah *fly ash* ini diharapkan dapat mengurangi banyaknya limbah dan mendapatkan bahan alternatif yang bisa mengurangi jumlah emisi CO₂ yang dihasilkan akibat produksi semen yang berlebihan.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan latar belakang situasi tersebut, timbul beberapa pertanyaan yang dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *fly ash* pada *paving block* sebagai substitusi pengganti sebagian semen terhadap nilai kuat tekan?
2. Bagaimana pengaruh *fly ash* pada *paving block* sebagai substitusi pengganti sebagian semen terhadap nilai aus?

3. Bagaimana pengaruh *fly ash* pada *paving block* sebagai substitusi pengganti sebagian semen terhadap nilai serapan air?

1.3 Batasan Masalah

Untuk mencapai maksud dan tujuan penulisan makalah ini serta menjelaskan pokok-pokok pembahasan di atas, maka batasan masalah dalam penelitian ini ditetapkan sebagai berikut.

1. Uji kuat tekan, berat volumetrik, dan daya serap air dilakukan pada umur hari ke 28.
2. Campuran pengganti *fly ash* digunakan dengan konsentrasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%.
3. Spesimen uji diperlakukan dengan cara direndam selama 24 jam dan kemudian disimpan di tempat yang teduh.
4. Analisis yang dilakukan tidak memperhitungkan aspek biaya.
5. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium.
6. Batu paving yang digunakan berukuran panjang 20 cm, lebar 10 cm, dan tebal 6 cm.
7. Benda uji perkerasan menggunakan jenis batu bata.
8. *Fly ash* diperoleh dari limbah PT Petrokimia Gresik.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis nilai kuat tekan *paving block* yang menggunakan *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen.
2. Mengetahui nilai keausan *paving block* yang menggunakan *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen.
3. Menganalisis daya serap air *paving block* yang menggunakan *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penulisan proposal penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Peneliti
Menerapkan pemanfaatan limbah sisa pembakaran batu bara, khususnya *fly ash*, sebagai substitusi semen dalam produksi *paving block* untuk konstruksi jalan, sehingga dapat mengurangi pencemaran yang dihasilkan oleh *fly ash* dan dampak negatif dari produksi semen.
2. Bagi Masyarakat Luas
Menggunakan limbah sisa pembakaran batu bara, seperti *fly ash*, sebagai substitusi semen, sehingga memberikan nilai jual yang lebih tinggi bagi limbah tersebut.
3. Bagi Akademisi
Memberikan informasi mengenai pemanfaatan *fly ash* sebagai substitusi semen dalam produksi *paving block*, yang dapat menjadi referensi untuk penelitian lebih lanjut.