

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Semarang menunjukkan tingkat aktivitas transportasi yang sangat tinggi, terlihat dari jumlah kendaraan bermotor yang terus meningkat setiap tahunnya. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah tahun 2021, tercatat sekitar 1.875.781 unit kendaraan bermotor di kota ini, menjadikannya sebagai kota dengan jumlah kendaraan terbanyak di provinsi Jawa Tengah. Hal tersebut berkontribusi terhadap peningkatan polutan yang merugikan lingkungan dan kesehatan manusia. Kendaraan bermotor umumnya menghasilkan berbagai senyawa kimia berbahaya, salah satunya adalah karbon dioksida (CO_2). Menurut Nazarudin, Suryadhi, dan Syafri (2021), besarnya emisi CO_2 sangat dipengaruhi oleh konsumsi bahan bakar, sehingga semakin tinggi konsumsi bahan bakar, semakin besar pula emisi CO_2 yang dilepaskan ke udara. Dengan demikian, tingginya jumlah kendaraan bermotor di Kota Semarang berbanding lurus dengan tingginya potensi emisi CO_2 yang dihasilkan dan dilepaskan ke atmosfer.

Selain itu, pesatnya perkembangan sektor konstruksi turut menyumbang emisi CO_2 , terutama dari penggunaan semen sebagai material utama. Produksi semen telah meningkatkan konsentrasi CO_2 atmosfer dari 280 menjadi 410 ppmv sejak 1750 hingga 2023, dengan potensi menaikkan suhu bumi hingga 5,8 °C abad ini. Berbagai strategi mitigasi seperti pemanfaatan limbah panas, bahan bakar alternatif, efisiensi energi, dan penangkapan karbon telah diterapkan, namun emisi tetap meningkat seiring tingginya volume produksi (Kaptan et al., 2023).

Berdasarkan *Air Quality Life Index* oleh Lee dan Greenstone (2021), empat dari lima orang Indonesia terpapar polusi PM 2,5 melebihi ambang WHO, menjadikan Indonesia peringkat ke-13 dunia dalam kehilangan usia harapan hidup akibat polusi partikulat. Kondisi ini menuntut solusi efektif, salah satunya dengan memanfaatkan material penyerap polutan.

Karbon aktif merupakan senyawa karbon yang telah melalui proses karbonisasi dan aktivasi untuk meningkatkan daya adsorpsinya, sehingga umum digunakan sebagai adsorben berbagai gas polutan seperti CO, NO, dan NO_x. Secara teoritis, karbon aktif memang dianggap sebagai adsorben kimia memiliki potensi besar dalam mereduksi pencemaran udara (Gunawan et al., 2020). Selain itu, karbon aktif juga terbukti efektif dalam menyerap gas CO₂ karena luas permukaan dan struktur porinya yang tinggi, sehingga potensial digunakan dalam sistem mitigasi emisi gas rumah kaca (Plaza et al., 2011). Efektivitas karbon aktif sangat dipengaruhi oleh proses pembuatannya, mulai dari karbonisasi pada suhu 400–600 °C hingga aktivasi pada suhu 700–1100 °C menggunakan uap, CO₂, atau aktivator kimia untuk meningkatkan daya serap dan struktur pori (Sembiring & Sinaga, 2003 dalam Dewi et al., 2020). Namun, suhu tinggi dan durasi proses yang berlebihan dapat menyebabkan over-dekomposisi biomassa serta peningkatan emisi CO₂ (Lehmann & Joseph, 2009; Ronsse et al., 2013). Oleh karena itu, optimasi proses sangat penting untuk memperoleh karbon aktif yang efisien secara adsorpsi dan ramah lingkungan dari segi energi dan emisi.

Sejalan dengan pendekatan tersebut, pemanfaatan limbah pertanian lokal seperti tempurung kelapa menjadi alternatif yang potensial. Indonesia dengan iklim tropis dan luas perkebunan kelapa mencapai 3,36 juta hektar (Ditjenbun, 2021), memiliki ketersediaan tempurung kelapa yang melimpah. Meski dikenal sebagai tanaman seribu manfaat (Sukmaya & Perwita, 2018), limbah tempurungnya masih diolah secara konvensional (Indahyani, 2011), padahal memiliki kandungan karbon tinggi dan struktur pori yang baik untuk bahan baku karbon aktif (Pambayun et al., 2013; Sutrisno et al., 2019; Lua & Yang, 2004).

Namun demikian, produksi karbon aktif dari tempurung kelapa masih menghadapi kendala dalam memenuhi standar SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis. Subhan et al. (2022) mencatat kadar abu sebesar 50,67% dan *volatile* 47,8%, jauh di atas batas SNI dan berpengaruh negatif terhadap kapasitas adsorpsi. Meski kadar air masih sesuai (3,8%), komposisi tersebut menjadikan material tidak layak secara teknis.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan *Carbon Raw-Activated (CRA)*, yaitu karbon hasil aktivasi awal yang belum sepenuhnya memenuhi standar teknis. Istilah ini digunakan untuk menekankan bahwa material masih dalam tahap pengembangan, sekaligus menjadi upaya mengurangi emisi CO₂ akibat proses aktivasi bersuhu tinggi dalam produksi karbon aktif konvensional.

Hal tersebut menjadi latar belakang penelitian ini, karena terdapat berbagai permasalahan yang muncul, mulai dari peningkatan polutan akibat tingginya penggunaan kendaraan bermotor di Kota Semarang, hingga meningkatnya emisi gas buang CO₂ akibat penggunaan semen yang terus bertambah. Kondisi ini tentu berdampak buruk bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Di sisi lain, limbah kelapa, khususnya tempurung kelapa masih belum dimanfaatkan secara optimal, sehingga berpotensi menjadi solusi alternatif dalam upaya mengurangi emisi dan mendukung penelitian ini. Oleh karena itu, perlu dilakukan pembaruan pada produk bahan bangunan, khususnya dalam perkerasan jalan dengan menghadirkan inovasi konstruksi yang sejalan dengan prinsip keberlanjutan. Salah satu langkah awal yang dapat diterapkan adalah memodifikasi *paving block* untuk area parkir dengan menambahkan *CRA* dari limbah tempurung kelapa sebagai substitusi parsial semen.

Paving block merupakan salah satu inovasi dalam teknologi beton pracetak yang banyak digunakan sebagai lapisan permukaan pada jalan, area parkir, trotoar, dan fasilitas umum lainnya. Selain berfungsi sebagai elemen struktur, *paving block* juga dikenal ramah lingkungan karena bersifat permeabel, sehingga dapat membantu meresapkan air hujan ke dalam tanah dan menjaga ketersediaan air tanah (SNI 03-0691-1996; Susanto et al., 2019).

Melalui pendekatan ini, peneliti tidak hanya berfokus pada potensi material dalam aspek fisik seperti kemampuan menyerap air dan kekuatan tekan *paving block*, tetapi juga mengeksplorasi kemampuannya dalam menekan emisi gas buang CO₂, serta mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan semen konvensional. Dengan demikian, inovasi ini diharapkan dapat berkontribusi terhadap pengurangan emisi karbon dan pencemaran lingkungan, sekaligus menjadi alternatif material ramah lingkungan berbasis limbah biomassa.

1.2 Identifikasi Permasalahan

Dari uraian latar belakang pada halaman sebelumnya, beberapa permasalahan dapat diidentifikasi, yaitu:

1. Meningkatnya emisi CO₂ dari sektor transportasi dan konstruksi, khususnya akibat tingginya penggunaan kendaraan bermotor dan konsumsi semen;
2. Masih terbatasnya pemanfaatan limbah tempurung kelapa yang sebenarnya memiliki potensi sebagai bahan *CRA* yang dapat dijadikan adsorben;
3. Belum optimalnya kualitas karbon aktif dari tempurung kelapa untuk memenuhi standar SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis; serta
4. Perlunya inovasi bahan bangunan yang mendukung prinsip keberlanjutan, dimulai dari lingkup kecil, seperti area parkir.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan *paving block* dengan *CRA* sebagai substitusi parsial semen. Hipotesis yang diajukan ialah *paving block* dengan *CRA* memiliki kapasitas adsorpsi CO₂ atau mampu menyerap polutan berupa emisi gas buang CO₂ di sekitarnya, sekaligus tetap memenuhi karakteristik fungsional sesuai standar yang berlaku.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan yang telah diuraikan, maka penelitian ini dirancang dengan beberapa tujuan utama untuk memastikan ruang lingkup kajian tetap terarah dan mendalam. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi prosentase *CRA* pada *paving block* terhadap kemampuan daya serap air.
2. Menganalisis pengaruh variasi prosentase *CRA* pada *paving block* terhadap kuat tekan yang dihasilkan.
3. Melakukan studi ekperimental terhadap kemampuan *paving block* dengan substitusi *CRA* dalam menyerap emisi gas buang CO₂ secara tidak langsung menggunakan metode gravimetri sederhana berupa pengendapan.

4. Menganalisis perbandingan biaya yang dibutuhkan untuk pembuatan *paving block* dengan substitusi *CRA*.

1.4 Batasan Penelitian

Terdapat batasan dalam melakukan penelitian ini agar pembahasan tidak meluas diantaranya:

1. *Semen Portland* yang digunakan tipe I merek Tiga Roda.
2. *CRA* yang dibuat mengacu pada standar kualitas arang aktif teknis No. 06-3730-1995.
3. Uji *CRA* yang dilakukan hanyalah uji bagian mudah menguap (*volatile matter*), uji kadar air, uji kadar abu, dan uji karbon aktif murni.
4. Fokus penelitian hanya terbatas pada kemampuan menyerap CO₂ tanpa menguji performa karbon aktif terhadap polutan lain (misalnya NO_x, logam berat, atau VOCs).
5. Pengujian ini dilakukan dengan beberapa metode pengujian meliputi:
 - a. Daya Serap Air
 - b. Kuat Tekan
 - c. Daya Serap CO₂ dengan metode Gravimetri (uji serap tidak langsung berupa pengendapan).
6. Variasi penggunaan *CRA* sebagai bahan substitusi semen yaitu sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen.
7. *Paving block* yang digunakan untuk seluruh pengujian dengan dimensi 200 x 100 x 60 mm.
8. *Paving block* ini diproduksi secara manual dengan menggunakan cetakan dan tenaga kerja manusia tanpa bantuan mesin otomatis pada Percetakan *Paving Block* Pak Muh.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material konstruksi berkelanjutan melalui pemanfaatan *CRA* sebagai bahan substitusi parsial semen pada *paving block*. Hasil penelitian ini tidak hanya memperkaya kajian ilmiah mengenai potensi *CRA* dengan biomassa dalam mereduksi emisi CO₂, tetapi juga memberikan acuan praktis dalam pengembangan produk perkerasan jalan yang memenuhi aspek teknis, fungsional, serta ramah lingkungan melalui pemanfaatan limbah biomassa.