

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan material konstruksi utama yang secara luas digunakan pada berbagai jenis struktur dan berperan penting dalam pengembangan infrastruktur berkelanjutan (Silas Kandyufiter dkk., 2012). Menurut Aswani Ahmad dkk., 2009, Beton tersusun dari semen, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambahan, yang masing-masing memengaruhi karakteristik serta kualitas akhir beton. Dalam perancangan campuran beton, pemilihan material penyusun yang tepat menjadi faktor krusial karena setiap komponen memberikan kontribusi berbeda terhadap perilaku mekanis beton, baik pada kondisi menerima beban maupun lentur.

Agregat adalah komponen terbesar dalam campuran beton, mencakup sekitar 60–75% dari total volume beton, sehingga sangat memengaruhi kuat tekan, kuat lentur, dan *workability* beton yang dihasilkan (Lakho & Zardari, 2016). Ketersediaan agregat alam yang semakin terbatas akibat eksploitasi terus-menerus mendorong perlunya material alternatif, salah satunya limbah pecahan keramik. Limbah keramik memiliki potensi sebagai substitusi agregat kasar karena memiliki kekerasan yang cukup tinggi, gradasi partikel yang dapat dikontrol, serta permukaan kasar yang berpotensi meningkatkan ikatan antara agregat dan pasta semen (Keshavarz & Mostofinejad, 2019). Penelitian Pacheco-Torgal & Jalali, 2010 berjudul *“Reusing Ceramic Wastes in Concrete”* mengkaji pemanfaatan limbah keramik industri sebagai bahan substitusi dalam campuran beton untuk mengurangi limbah industri keramik yang sebagian besar berakhir di tempat pembuangan akhir. Dalam penelitian tersebut, limbah keramik digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam bentuk serbuk keramik serta sebagai substitusi agregat halus dan agregat kasar. Secara optimum, limbah keramik terbukti lebih unggul digunakan sebagai agregat halus karena tidak menyebabkan penurunan kuat tekan dan menghasilkan performa durabilitas yang lebih baik, meskipun penggunaan sebagai agregat kasar juga menunjukkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan beton kontrol pada umur 28 hari. (Hakim dkk., 2021).

Namun, penggunaan limbah keramik sebagai agregat kasar memiliki kelemahan berupa penurunan *workability*, sifat beton yang lebih getas, serta tingginya penyerapan dan permeabilitas air yang berpotensi menurunkan kuat tekan, sehingga perlu ada tindakan untuk mengatasi hal tersebut, contohnya penggunaan bahan aditif tambahan. Meskipun demikian, material ini sangat potensial dikembangkan demi mengurangi ketergantungan pada agregat alam secara signifikan. Oleh karena itu, diperlukan material pendukung alternatif untuk menjaga keseimbangan air dan memperbaiki struktur mikro beton, sehingga diperoleh kinerja kuat tekan dan kuat lentur yang optimal. (Saifuddin & Arman Maulana, 2023).

Untuk mengatasi porositas dan menutup rongga kapiler pada beton limbah tersebut, penelitian terdahulu umumnya memanfaatkan *filler* mikro seperti *silica fume* atau *fly ash* (Thomas dkk, 2021). Namun, material penambah komersial ini memiliki keterbatasan pada biaya yang mahal dan ketersediaan yang tidak merata (Aprianti S, 2017). Oleh karena itu, diperlukan alternatif pengisi berbasis limbah organik yang lebih ekonomis namun kaya silika untuk memperbaiki struktur mikro beton, seperti limbah ampas kopi. Di sisi lain, peningkatan konsumsi kopi di Indonesia juga menimbulkan permasalahan limbah yang signifikan, menurut laporan Global Agricultural Information Network (2022), konsumsi kopi di Indonesia terus meningkat seiring pulihnya aktivitas pascapandemi dan berkembangnya kedai kopi, yang berdampak langsung pada peningkatan volume limbah ampas kopi (Tsai, 2017). Karmee (2018) mengestimasi bahwa produksi 1 ton biji kopi dapat menghasilkan sekitar 650 kg ampas dengan jejak karbon mencapai 59,12 gram CO₂ per gelas, sehingga jumlah residu padat ini akan terus meningkat seiring tren konsumsi (Mayson dan Williams, 2021). Namun demikian, sekitar 70% limbah ampas kopi belum dikelola secara optimal dan berpotensi menghasilkan gas metana melalui proses dekomposisi anaerobik di tempat pembuangan akhir (Franca dan Oliveira, 2022). Dalam konteks material konstruksi, pemanfaatan ampas kopi mulai dikaji sebagai bahan substitusi dalam beton. Penelitian Roychand dkk., 2023 menunjukkan bahwa ampas kopi yang telah melalui proses pirolisis pada suhu 350°C menjadi *biochar* memiliki karakteristik berpori yang mampu menyerap dan melepaskan air secara bertahap, sehingga

berpotensi berperan sebagai media *internal curing* dalam menjaga keberlangsungan proses hidrasi semen. Selain itu, *biochar* juga dapat berfungsi sebagai *filler* yang membantu meningkatkan kepadatan mikrostruktur melalui pengisian rongga antar partikel, sehingga berkontribusi terhadap perbaikan kualitas matriks semen dan peningkatan kuat tekan beton hingga 29,3% pada kadar substitusi 15% agregat halus. Karakteristik inilah yang menjadikan *biochar* ampas kopi berpotensi sebagai material pendukung yang mampu mengatasi kelemahan yang ditimbulkan oleh substitusi agregat kasar limbah keramik.

Internal curing pada beton dapat didefinisikan sebagai proses hidrasi semen yang berlangsung karena ketersedianya air internal tambahan yang bukan bagian dari air pencampur, yang umumnya disuplai oleh agregat ringan jenuh atau material berpori seperti *biochar* (Bentz dkk., 2005). Material berpori tersebut berfungsi sebagai penyimpan air yang dapat menyerap sekitar 15–25% dari beratnya sebelum pencampuran dan kemudian melepaskan air secara bertahap selama proses hidrasi semen, terutama ketika derajat hidrasi mencapai sekitar 32% atau lebih. Pelepasan air dari *biochar* ini terbukti sangat sinkron dengan karakteristik laju hidrasi semen *Portland Composite Cement* (PCC) yang berlangsung lebih lambat dan bertahap dibandingkan OPC. Mekanisme pelepasan terukur ini efektif mengisi pori kapiler akibat penyusutan kimiawi tanpa membuat matriks beton menjadi terlalu basah, sehingga konsistensi dan kestabilan adonan tetap terjaga. Dengan menjaga tingkat kelembapan relatif *internal* secara konstan, *internal curing* tidak hanya mencegah kekeringan dini tetapi juga meningkatkan derajat hidrasi jangka panjang, mereduksi porositas kapiler, serta membentuk mikrostruktur pasta semen yang lebih padat, homogen, dan berdurabilitas tinggi (Bentz & Weiss, 2011)

Kombinasi limbah keramik dan *biochar* ampas kopi menunjukkan sinergi yang saling melengkapi dalam campuran beton. Penggunaan limbah keramik sebagai agregat kasar efektif meningkatkan kuat tekan, namun menurunkan *workability*, meningkatkan penyerapan air, dan membuat beton lebih getas. Kelemahan ini dapat dimitigasi oleh struktur mikropori *biochar* ampas kopi melalui mekanisme *internal curing* yang menjaga keseimbangan air serta meningkatkan kualitas ikatan pasta semen. Selain itu, partikel halus *biochar* berfungsi sebagai *filler* yang menutup rongga mikro sehingga struktur beton menjadi lebih padat.

Dengan demikian, integrasi kedua material ini berpotensi menghasilkan beton dengan kinerja kuat tekan dan kuat lentur yang seimbang, sekaligus mendukung konsep konstruksi berkelanjutan berbasis pengelolaan limbah. Berdasarkan tinjauan literatur yang telah dilakukan, penelitian yang mengombinasikan limbah keramik sebagai substitusi agregat kasar dan *biochar* ampas kopi sebagai substitusi agregat halus dalam satu campuran beton mutu $f'c$ 30 MPa masih sangat terbatas. Kombinasi kedua material tersebut memiliki karakteristik yang berpotensi saling melengkapi dalam memperbaiki kinerja beton, khususnya pada aspek kuat tekan, kuat lentur, dan analisa biaya. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan limbah keramik sebagai substitusi agregat kasar dan *biochar* ampas kopi sebagai substitusi agregat halus terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton sebagai upaya pengembangan material konstruksi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah dalam pemanfaatan limbah konstruksi dan limbah organik secara lebih optimal sekaligus berkontribusi pada pengurangan ketergantungan terhadap material alam dalam campuran beton.

1. 2 Rumusan Masalah

Beberapa rumusan masalah di penelitian inovasi beton yakni:

1. Bagaimana perbandingan nilai kuat tekan yang dihasilkan dari berbagai variasi campuran limbah tersebut dibandingkan dengan beton konvensional untuk mutu $f'c$ 30 MPa yang layak?
2. Bagaimana perbandingan nilai kuat lentur yang dihasilkan dari berbagai variasi campuran limbah tersebut dibandingkan dengan beton konvensional untuk mutu $f'c$ 30 MPa yang layak?
3. Berapakah estimasi biaya dalam pembuatan beton normal dan beton variasi?
4. Bagaimana pengaruh dari komposisi campuran penggunaan limbah keramik sebagai substitusi agregat kasar dan *biochar* ampas kopi sebagai substitusi agregat halus terhadap beton dengan mutu $f'c$ 30 MPa?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan atas penelitian ini didasari beberapa tujuan yakni:

1. Menganalisis pengaruh penggunaan limbah keramik sebagai substitusi agregat kasar dan *biochar* ampas kopi sebagai substitusi agregat halus terhadap kuat tekan beton f'_c 30 MPa.
2. Menganalisis pengaruh penggunaan limbah keramik sebagai substitusi agregat kasar dan *biochar* ampas kopi sebagai substitusi agregat halus terhadap kuat lentur beton f'_c 30 MPa.
3. Menganalisis biaya pembuatan beton normal dan beton dengan variasi substitusi limbah keramik dan *biochar* ampas kopi.
4. Menganalisis komposisi optimal penggunaan limbah keramik sebagai substitusi agregat kasar dan *biochar* ampas kopi sebagai substitusi agregat halus berdasarkan kuat tekan, kuat lentur, dan biaya pembuatan beton f'_c 30 MPa.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dimaksudkan mempunyai hasil yang bermanfaat, yakni:

1. Memberikan referensi teknis mengenai proporsi komposisi yang paling ideal dalam penggabungan limbah keramik dan *biochar* ampas kopi guna menghasilkan beton mutu tinggi f'_c 30 MPa yang optimal.
2. Menyediakan data empiris mengenai perbandingan kinerja kuat tekan, kuat lentur, dan analisa biaya antara beton inovasi dengan beton konvensional, sehingga dapat menjadi acuan dalam pengembangan teknologi beton dengan material sisa.
3. Memberikan informasi mengenai kelayakan teknis beton inovasi tersebut agar dapat diimplementasikan secara luas pada pekerjaan perkerasan kaku (*rigid pavement*) sesuai dengan standar lapangan yang berlaku.
4. Menelaah Potensi penghematan biaya produksi melalui pemanfaatan variasi campuran limbah yang paling efisien, sekaligus mendukung Upaya Pembangunan berkelanjutan (*sustainable construction*) melalui pengurangan limbah industri.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah di penelitian penulis yakni:

1. Penelitian ini menggunakan limbah keramik sebagai pengganti sebagian agregat kasar dan *biochar* ampas kopi sebagai pengganti sebagian agregat halus, dengan target kuat tekan rencana beton sebesar $f'c$ 30 MPa pada umur 28 hari.
2. Pengujian karakteristik beton dibatasi pada nilai kuat tekan dan kuat lentur menggunakan benda uji silinder dan balok, guna menganalisis kelayakannya sebagai beton.
3. Metode perancangan campuran (*mix design*) serta prosedur pengujian mengikuti standar SNI 7656-2012, dengan metode perawatan (*curing*) dilakukan melalui perendaman air pada suhu normal.
4. Penelitian ini menggunakan limbah ampas kopi domestik *house blend* (*mixed arabica* dan *robusta*) yang diperoleh dari Peacockoffie Semarang serta ampas kopi yang diolah menjadi *biochar* melalui proses pirolisis pada suhu optimal 350°C.

1.6 Ruang Lingkup

Penelitian ini dijalankan di laboratorium bahan bangunan, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro. Bahan yang dipergunakan di studi ini yakni limbah keramik yang berasal dari sisa toko bahan bangunan serta sisa pada proyek konstruksi serta limbah ampas kopi dari *coffee shop* sebagai substitusi agregat halus.