

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kemajuan sektor infrastruktur dan perumahan di Indonesia mengalami kemajuan yang sangat berarti dari tahun ke tahun, yang menyebabkan bertambahnya kebutuhan akan bahan konstruksi. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS, 2024), bidang konstruksi di Indonesia menunjukkan kontribusi yang penting bagi perekonomian nasional. Pada tahun 2024, bidang konstruksi tercatat menyumbang sekitar 9,63% hingga 10,43% terhadap Produk Domestik Bruto (PDB), dengan rincian sebesar 10,23% pada Triwulan I, 9,63% pada Triwulan II, 10,06% pada Triwulan III, dan meningkat menjadi 10,43% pada Triwulan IV. Hal ini mengindikasikan bahwa sektor konstruksi merupakan salah satu sektor utama yang terus mengalami pertumbuhan dan berada pada posisi empat besar dalam struktur ekonomi Indonesia. Kenaikan permintaan bahan konstruksi mencakup batako sebagai bahan pasangan dinding. Meskipun kebutuhan batako terus meningkat, proses produksi batako di Indonesia masih didominasi oleh industri kecil dan menengah (IKM) yang menggunakan metode konvensional dengan komposisi campuran semen dan pasir tanpa modifikasi material. Kondisi tersebut menyebabkan kualitas batako yang dihasilkan sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh mutu bahan baku, proporsi campuran, proses pencetakan, hingga metode perawatan. Berdasarkan hasil survei dan evaluasi mutu batako pada beberapa industri skala kecil di Indonesia, masih banyak produk batako yang belum memenuhi persyaratan kuat tekan sesuai SNI 03-0349-1989 akibat rendahnya kontrol mutu selama proses produksi (Misbah dkk, 2022; Rumbayan dkk, 2020). Permasalahan ini menunjukkan bahwa pengembangan material batako tidak hanya ditujukan untuk meningkatkan aspek keberlanjutan, tetapi juga untuk menghasilkan mutu produk yang lebih konsisten.

Batako yaitu material bangunan berbentuk balok yang dibuat dari campuran semen, agregat halus (pasir), dan air yang dicetak tanpa melalui proses pembakaran. Menurut Hidayat dan Sari (2021), material ini memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan bata merah dengan rata-rata ukuran 30 x 15 x 10 cm. Dimensi tersebut dapat mempercepat proses pemasangan dinding serta meningkatkan efisiensi penggunaan mortar dalam proyek konstruksi (Prasetyo dkk, 2022). Berdasarkan standar yang diberlakukan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN) melalui SNI 03-0349-1989 mengenai bata beton, batako harus memenuhi kriteria kuat tekan dan penyerapan air tertentu agar cocok digunakan sebagai elemen non-struktural dalam bangunan (BSN, 2020). Dalam standar tersebut, batako dikelompokkan menjadi berbagai mutu, yang masing-masing ditentukan berdasarkan nilai kekuatan tekan dan peruntukannya dalam konstruksi. Mutu I diperuntukan bagi konstruksi struktural dengan kekuatan tekan minimum sebesar 100 kg/cm², Mutu II untuk konstruksi semi-struktural dengan kekuatan tekan minimum 70 kg/cm², Mutu III untuk dinding non-struktural dengan kekuatan tekan minimum 40 kg/cm², serta Mutu IV untuk penggunaan ringan dengan kekuatan tekan minimum 25 kg/cm². Selain itu, batako mesti memenuhi standar daya serap air maksimum, yaitu sebesar 25% untuk Mutu I dan II, serta 35% untuk Mutu III dan IV. Namun demikian, batako juga memiliki beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan, terutama terkait sifat fisis dan mekanisnya. Salah satu tantangan utama adalah tingginya porositas yang dapat meningkatkan daya serap air, sehingga bisa menurunkan durabilitas material dalam jangka panjang (Rumbayan dkk, 2020). Kondisi ini juga dapat menyebabkan kerusakan dini seperti retak halus maupun pelapukan pada permukaan dinding jika batako tidak memiliki kualitas campuran yang baik. Selain itu, kuat tekan batako konvensional umumnya masih berada pada kategori rendah hingga sedang, yaitu berada pada rentang 25–100 kg/cm² sehingga penggunaannya lebih banyak difungsikan sebagai elemen non-struktural. Variasi kualitas produksi di lapangan yang belum seragam juga menjadi salah satu faktor yang memengaruhi performa batako secara keseluruhan. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam

pengembangan material batako untuk meningkatkan kualitasnya, baik dari aspek mekanik maupun ketahanan terhadap air, agar dapat memenuhi kebutuhan konstruksi yang semakin berkembang.

Limbah padat menjadi salah satu isu lingkungan yang semakin serius seiring dengan pertumbuhan kegiatan manusia, terutama di wilayah perkotaan. Menurut informasi yang dirilis oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) melalui Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), total timbulan limbah sampah di Indonesia pada tahun 2023 tercatat sekitar 69,9 juta ton per tahun, dan sekitar $\pm 17\text{--}18\%$ di antaranya merupakan sampah kertas. Berdasarkan data SIPSN KLHK, sebagian besar limbah kertas di Indonesia masih berakhir di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) karena kualitas serat yang menurun setelah beberapa kali proses daur ulang menyebabkan tidak seluruh limbah kertas dapat dimanfaatkan kembali sebagai produk kertas baru. Kertas HVS termasuk limbah yang banyak dihasilkan oleh perkantoran, sekolah, perguruan tinggi, dan instansi pemerintahan sebagai akibat meningkatnya penggunaan dokumen administrasi. Apabila tidak dimanfaatkan, limbah tersebut akan meningkatkan volume sampah padat dan mempercepat kapasitas TPA, sedangkan proses pembakaran terbuka menghasilkan emisi karbon yang berdampak terhadap lingkungan (KLHK, 2024). Pemanfaatan limbah kertas HVS dalam sektor konstruksi khususnya sebagai material tambah pada batako merupakan salah satu bentuk inovasi material ramah lingkungan yang sejalan dengan konsep *sustainable construction*. Penerapan limbah ini tidak hanya bertujuan menekan volume sampah, tetapi juga meningkatkan nilai guna material dalam industri konstruksi. Dari segi teknis, serat selulosa pada kertas HVS dapat berfungsi sebagai pengikat mikro yang mampu memperkuat ikatan antar partikel dalam campuran batako sehingga berpotensi meningkatkan performa mekanik material (Setiawan dkk, 2022). Selain itu, serat kertas juga dapat memberikan efek positif berupa peningkatan fleksibilitas mikrostruktur dan mengurangi kemungkinan retak akibat penyusutan pada saat proses pengeringan, sehingga batako menjadi lebih kokoh dalam kondisi lingkungan tropis seperti Indonesia (Pratama dkk, 2023). Walaupun begitu, penggunaan limbah kertas HVS juga memiliki beberapa

kelemahan yang perlu diperhatikan, terutama terkait sifat fisisnya yang higroskopis. Secara umum, serat selulosa pada kertas memiliki kemampuan menyerap air yang tinggi dengan tingkat penyerapan air dapat mencapai sekitar 60%–120% dari berat keringnya, tergantung jenis dan kepadatan serat yang digunakan. Kondisi ini menjadikan material berbasis kertas cenderung mengalami peningkatan kadar air secara signifikan ketika terpapar lingkungan lembab. Hal ini berimbas pada stabilitas volume serta menurunkan durabilitas jangka panjang material apabila tidak dilakukan perlakuan awal atau tidak dikombinasikan dengan bahan pengikat yang sesuai (Ahmad & Lestari, 2021). Selain itu, tanpa perlakuan kimia atau modifikasi tertentu, serat kertas berpotensi mengalami degradasi atau pelapukan dalam jangka panjang yang dapat menurunkan performa mekanis batako (Wibisono dkk, 2020). Oleh karena itu, pemanfaatan limbah kertas HVS dalam campuran batako perlu dikaji lebih lanjut agar dapat menghasilkan material konstruksi yang bukan hanya ramah lingkungan, tetapi juga memiliki kualitas mekanik dan fisis yang optimal.

Selain limbah organik seperti kertas, jenis limbah lain yang juga berpeluang besar untuk diterapkan dalam bidang konstruksi adalah limbah anorganik, salah satunya limbah kaca. Limbah kaca merupakan salah satu jenis limbah anorganik yang memiliki tingkat biodegradabilitas sangat rendah sehingga membutuhkan waktu ribuan tahun untuk terurai secara alami. Di Indonesia, limbah kaca sebagian besar berasal dari botol minuman, pecahan kaca bangunan, kaca otomotif, dan limbah industri. Berdasarkan laporan UNEP (2023), tingkat daur ulang limbah kaca di negara berkembang masih relatif rendah karena proses pemilahan dan pengolahannya membutuhkan biaya yang tinggi. Akibatnya, sebagian besar limbah kaca masih berakhir di TPA meskipun memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan kembali sebagai material konstruksi.

Limbah kaca yang telah dihancurkan menjadi serbuk kaca memiliki karakteristik fisik dan kimia yang stabil serta kandungan silika yang tinggi, sehingga menjadikannya material yang potensial sebagai bahan tambahan dalam campuran batako. *Glass Powder* (serbuk kaca) yang memiliki kandungan silika (SiO_2) tinggi. Kandungan tersebut memungkinkan terjadinya reaksi pozzolan yang

menghasilkan C-S-H tambahan, sehingga dapat berpengaruh terhadap kuat tekan. Oleh karena itu, penambahan serbuk kaca berpotensi terhadap kuat tekan batako. Pemanfaatan serbuk kaca dalam konstruksi tidak hanya mendukung konsep *recycling material* dan pengelolaan limbah berkelanjutan, tetapi juga dapat meningkatkan kualitas material bangunan. Secara teknis, kandungan silika pada serbuk kaca mampu mengisi rongga mikro dalam campuran semen sehingga dapat menurunkan porositas material dan berdampak pada penurunan daya serap air batako (Santoso dkk, 2022). Berdasarkan beberapa penelitian, penambahan serbuk kaca pada campuran beton atau material sejenis dapat meningkatkan densitas material sekitar 2,30–2,50 g/cm³, dibandingkan campuran normal yang berada pada kisaran 2,20–2,30 g/cm³, serta mampu menurunkan tingkat penyerapan air hingga sekitar 10%–25% tergantung pada kadar substitusi yang digunakan. Peningkatan ini terjadi karena partikel silika halus pada serbuk kaca mampu mengisi rongga mikro (*voids*) dalam campuran sehingga struktur material menjadi lebih rapat dan kurang permeabel terhadap air. Namun demikian, penggunaan serbuk kaca dalam campuran batako juga memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Ukuran partikel serbuk kaca yang tidak seragam dapat memengaruhi homogenitas campuran sehingga diperlukan proses pengayakan yang ketat sebelum digunakan, selain itu sifat abrasif dari kaca juga dapat memengaruhi proses pencampuran material (Dewi dkk, 2023). Penggunaan serbuk kaca dalam kadar berlebih juga dapat menurunkan *workability* campuran sehingga diperlukan penyesuaian proporsi air dan semen agar tetap menghasilkan campuran yang optimal (Jamal, 2024). Meskipun demikian, secara keseluruhan serbuk kaca tetap memiliki potensi besar sebagai bahan inovatif dalam pengembangan batako ramah lingkungan. Apabila dikombinasikan dengan limbah kertas HVS, di mana kertas berperan dalam meningkatkan karakter fisis sedangkan serbuk kaca berfungsi dalam menurunkan kinerja mekanik menaikkan kuat tekan dan menurunkan porositas serta daya serap air, maka kombinasi kedua material ini diharapkan mampu menghasilkan batako dengan performa yang lebih baik dibandingkan batako konvensional (Setiawan dkk, 2022).

Selain permasalahan limbah, industri semen juga merupakan salah satu penyumbang emisi karbon terbesar di dunia. Menurut *International Energy Agency* (IEA, 2023), produksi semen menyumbang sekitar 7–8% emisi karbon dioksida (CO₂) global, terutama akibat proses kalsinasi klinker dan konsumsi energi pada proses pembakaran. Oleh karena itu, berbagai penelitian mulai mengembangkan material substitusi parsial semen guna mengurangi konsumsi semen sekaligus mendukung target pembangunan rendah karbon.

Berdasarkan uraian tersebut, penggunaan limbah kertas HVS sebagai bahan tambah dan serbuk kaca dalam substitusi parsial semen pada campuran batako diduga dapat memengaruhi sifat mekanik dan fisik batako, khususnya terhadap kuat tekan dan daya serap air. Penambahan limbah kertas HVS diduga dapat menghasilkan batako yang lebih ringan, namun pada kadar tertentu berpotensi meningkatkan porositas dan menurunkan kuat tekan sedangkan penambahan serbuk kaca diperkirakan mampu berpengaruh pada kepadatan struktur batako.

Berbagai penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa limbah kertas HVS mampu menghasilkan batako yang lebih ringan, namun umumnya diikuti oleh peningkatan daya serap air dan penurunan kuat tekan pada kadar tertentu. Sebaliknya, penggunaan serbuk kaca terbukti mampu meningkatkan kepadatan mikrostruktur melalui reaksi pozzolan, tetapi efektivitasnya sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel dan persentase substitusi. Sebagian besar penelitian masih mengkaji kedua material tersebut secara terpisah sehingga belum diketahui bagaimana interaksi kedua material apabila digunakan secara bersamaan dalam satu sistem campuran batako.

1.2. Identifikasi Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, dapat diperoleh berupa permasalahan yang berkaitan dengan penggunaan kertas HVS dan serbuk kaca dalam pembuatan batako. Identifikasi masalah tersebut menjadi landasan untuk merumuskan fokus penelitian yang akan dilakukan. Adapun beberapa identifikasi masalah yang dapat dirinci adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan kertas HVS sebagai bahan penambah dan serbuk kaca sebagai bahan substitusi semen terhadap kuat tekan pada beberapa variasi batako?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan kertas HVS sebagai bahan penambah dan serbuk kaca sebagai bahan substitusi semen terhadap daya serap air (*water absorption*) pada beberapa variasi batako?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan kertas HVS sebagai bahan penambah dan serbuk kaca sebagai bahan substitusi semen terhadap biaya material pada beberapa variasi batako?
4. Bagaimana perbandingan pengaruh kuat tekan, daya serap air (*water absorption*), dan biaya material pada beberapa variasi batako?

1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan maksud untuk mengkaji dan mengembangkan inovasi material batako dengan memanfaatkan limbah kertas HVS dan serbuk kaca sebagai bahan penambahan dan bahan substitusi dalam campuran batako.

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh penggunaan kertas HVS sebagai bahan penambah dan serbuk kaca sebagai bahan substitusi semen terhadap kuat tekan pada beberapa variasi batako.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan kertas HVS sebagai bahan penambah dan serbuk kaca sebagai bahan substitusi semen terhadap daya serap air (*water absorption*) pada variasi batako.
3. Menganalisis perbandingan biaya material antara batako tanpa bahan tambahan dengan batako yang memanfaatkan limbah kertas HVS dan serbuk kaca sebagai bahan tambah dalam campurannya.
4. Mengetahui perbandingan hubungan pengaruh kuat tekan, daya serap air (*water absorption*), dan biaya material pada beberapa variasi batako.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dihasilkan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini memungkinkan pemahaman yang lebih terperinci mengenai dampak pemakaian kertas HVS sebagai tambahan dan serbuk kaca sebagai substitusi semen dalam pengujian karakteristik mekanik dan fisik batako, khususnya kuat tekan dan daya serap air. Disamping itu, peneliti memperoleh pengalaman dalam melakukan perancangan campuran (*mix design*), pengujian material, serta analisis perbandingan biaya material, sehingga meningkatkan kecakapan di bidang teknologi bahan bangunan.
2. Temuan penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan ilmiah pada bidang teknik sipil, khususnya terkait inovasi material ramah lingkungan. Selain itu, penelitian ini dapat memperluas kajian pustaka akademik serta menjadi acuan dalam studi lanjutan yang berkaitan dengan pemanfaatan limbah sebagai bahan alternatif dalam produksi batako.
3. Penelitian ini diharapkan memberikan wawasan dan solusi alternatif dalam memanfaatkan limbah kertas HVS dan serbuk kaca sebagai bahan campuran batako yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Dengan mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan, daya serap air, dan biaya material, masyarakat dan pelaku konstruksi dapat mengevaluasi penggunaan material alternatif ini untuk meningkatkan efisiensi biaya serta mengurangi dampak limbah terhadap lingkungan.

1.5. Batasan Masalah

Dalam rangka menjaga fokus dan keteraturan penelitian, batasan masalah dalam penelitian ditetapkan sebagai berikut:

1. Penelitian menggunakan limbah kertas HVS gramasi 70 gsm dengan sebagai bahan tambah hanya sebatas 0%; 2,5%; 5%; 7,5% dari berat keseluruhan.
2. Penelitian menggunakan serbuk kaca dari merek Asahi berwarna bening (*clear*) sebagai substitusi parsial hanya sebatas 0%; 2,5%; 5%; 10% dari berat semen.

3. SNI 03-6882-2002 digunakan sebagai acuan spesifikasi material dan pengujian kuat tekan.
4. SNI 03-0349-1989 mengenai bata beton sebagai acuan dalam pengujian daya serap dan pengklasifikasian mutu batako.
5. Pengujian dilakukan hanya pada kuat tekan dan daya serap air.
6. Mutu rencana batako adalah mutu III untuk batako pasangan dinding.
7. Uji kuat tekan dan daya serap air dilakukan setelah umur batako 28 hari dan 14 hari.
8. Proses *mixing* dilakukan secara manual.
9. Perawatan benda uji dilakukan dengan sistem *dry curing*.
10. Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.