

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur yang berkualitas memerlukan material konstruksi yang mampu memberikan kekuatan, ketahanan, dan umur layanan yang panjang. Salah satu material yang paling banyak digunakan adalah semen portland karena memiliki kinerja mekanis yang baik dan mudah diaplikasikan di lapangan (Ament et al., 2023). Namun, produksi semen menghasilkan emisi CO₂ dalam jumlah besar akibat proses kalsinasi yang menyumbang sekitar dua pertiga emisi, serta konsumsi energi tinggi akibat pembakaran bahan bakar fosil dalam proses pembakaran tanur. Secara global, industri semen menyumbang sekitar 7% dari total konsumsi energi industri dan memegang pangsa terbesar kedua untuk emisi CO₂ industri langsung sebesar 27%, dengan proyeksi kebutuhan produksi dunia yang bergerak naik hingga mencapai kisaran 4.600 hingga 5.500 juta ton per tahun pada tahun 2050 (Transition & Industry, 2025).

Sebagai alternatif material berkelanjutan, mortar geopolimer berbasis *fly ash* yang selanjutnya akan disebut mortar geopolimer, memanfaatkan limbah industri sebagai *binder* pengganti semen portland tanpa melalui proses hidrasi, namun tetap menghasilkan kuat tekan yang sebanding dengan mortar berbasis semen (Nikoloutsopoulos et al., 2021). Kinerja mortar geopolimer juga telah terbukti pada aplikasi *repair* dan rehabilitasi struktur pasangan bata, dengan peningkatan kuat tekan hingga 1,8 kali dan kuat geser hingga 7 kali dibanding mortar berbasis semen, serta menunjukkan durabilitas yang lebih baik. Selain itu, mortar geopolimer memiliki kuat tekan tinggi, durabilitas yang baik, dan ketahanan yang baik terhadap lingkungan kimia agresif. Namun, material ini masih rentan mengalami retak akibat *shrinkage* pada umur awal sehingga diperlukan upaya pengendalian retak untuk meningkatkan kinerjanya. (Krishna A. Sai, K. Rajesh Kumar, 2025).

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, mortar geopolimer masih rentan terhadap retak akibat *shrinkage*, baik susut plastis maupun susut kering yang terjadi karena kehilangan air selama proses polimerisasi. Penyusutan ini menimbulkan regangan tarik *solid* yang, ketika melampaui kapasitas tarik material, menyebabkan terbentuknya retak rambut, terutama pada kondisi *restrained shrinkage* (Olayinka et al., 2025). Permasalahan ini semakin kritis pada elemen tipis karena kehilangan kelembapan yang cepat akibat penguapan dapat memicu plastic *shrinkage* dan retak pada umur awal. Retak tersebut dapat menurunkan durabilitas struktur dengan menjadi jalur masuk material berbahaya ke dalam matriks material (Sayahi, 2019).

Salah satu metode pengendalian retak adalah penambahan serat dalam campuran mortar. Serat bekerja melalui mekanisme *crack bridging* yang menahan pembukaan retak sehingga meningkatkan daktilitas, ketangguhan, dan kapasitas serap energi material. Selain itu, serat membantu mendistribusikan tegangan tarik secara lebih merata sehingga menghambat perkembangan retak mikro. Penelitian menunjukkan bahwa serat mampu meningkatkan perilaku pasca retak serta kapasitas deformasi, dan juga mengurangi *shrinkage* melalui mekanisme *solid curing* dengan mengontrol kehilangan air pada umur awal (Wang et al., 2024). Dari sisi keberlanjutan, serat selulosa limbah kertas bersifat ramah lingkungan, dapat terurai secara hayati, dapat didaur ulang, dan tersedia melimpah (Patrisia et al., 2025).

Selain itu, analisis retak rambut secara kuantitatif dengan variasi kadar serat juga masih jarang dilakukan. Di Indonesia belum terdapat standar SNI yang secara khusus mengatur metode pengujian mortar geopolimer. Oleh karena itu, metode pengujian kuat tekan dalam penelitian ini mengacu pada Mohammed & Fawzi, (2024), dengan penyesuaian metode *curing* sesuai karakteristik mortar geopolimer.

Pemanfaatan serat selulosa limbah kertas pada mortar geopolimer masih terbatas, khususnya dalam pengendalian retak melalui mekanisme *crack bridging* dan *solid curing* serta kaitannya dengan susut dan kuat tekan. Selain itu, analisis retak rambut secara kuantitatif dengan variasi kadar serat juga masih jarang dilakukan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mengkaji pengaruh serat selulosa terhadap retak rambut pada mortar geopolimer untuk aplikasi plesteran

dinding, guna menghasilkan material yang lebih tahan retak dan aplikatif di lapangan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan serat selulosa limbah kertas terhadap retak rambut, susut, kuat tekan, dan daya serap air pada mortar geopolimer?
2. Bagaimana perbandingan biaya produksi antara mortar geopolimer tanpa serat dan mortar geopolimer dengan variasi serat selulosa limbah kertas?
3. Berapakah kadar optimum serat selulosa limbah kertas yang menghasilkan kinerja terbaik berdasarkan parameter retak rambut, susut, kuat tekan, dan daya serap air pada mortar geopolimer?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan serat selulosa limbah kertas terhadap sifat mekanik dan karakteristik retak pada mortar geopolimer, serta mengevaluasi potensi pemanfaatan limbah kertas sebagai bahan tambah ramah lingkungan dalam material konstruksi. Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh penambahan serat selulosa limbah kertas terhadap terbentuknya retak rambut, nilai susut, kuat tekan, dan daya serap pada mortar geopolimer.
2. Menganalisis perbandingan biaya produksi mortar geopolimer tanpa serat dan mortar geopolimer dengan variasi serat selulosa limbah kertas.
3. Menentukan kadar optimum serat selulosa limbah kertas yang menghasilkan kinerja terbaik berdasarkan parameter retak rambut, susut, kuat tekan, dan daya serap pada mortar geopolimer.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan mortar geopolimer, khususnya dalam pengendalian retak rambut

melalui pemanfaatan serat selulosa limbah kertas. Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan data mengenai pengaruh penambahan serat selulosa limbah kertas terhadap terbentuknya retak rambut, nilai susut, kuat tekan, dan daya serap pada mortar geopolimer.
2. Memberikan informasi mengenai perbandingan biaya produksi antara mortar geopolimer tanpa serat dan mortar geopolimer dengan variasi serat selulosa limbah kertas.
3. Memberikan rekomendasi kadar optimum serat selulosa limbah kertas yang menghasilkan kinerja terbaik berdasarkan parameter retak rambut, susut, kuat tekan, daya serap air, serta pertimbangan biaya produksi pada mortar geopolimer.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan, maka batasan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini tidak mencakup pengujian kuat tarik langsung (direct tensile test) maupun split tensile test, sehingga perilaku tarik dievaluasi secara tidak langsung melalui pengamatan retak rambut pada benda uji pelat mortar yang dicetak menggunakan bekisting kayu dan di uji setelah bekisting dilepas, serta dianalisis secara kuantitatif berdasarkan panjang, lebar, dan luas retak.
2. Penelitian tidak mencakup analisis durabilitas jangka panjang maupun pengujian mikrostruktur seperti SEM atau XRD.
3. Penelitian tidak membahas secara mendalam aspek kimia material, seperti reaksi geopolimerisasi, komposisi kimia detail, atau analisis senyawa.
4. Analisis biaya dilakukan secara sederhana berdasarkan volume benda uji dan mengacu pada Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Kota Semarang dan melalui e-commerce, serta terbatas pada perbandingan biaya material tanpa mempertimbangkan biaya tenaga kerja, alat, dan faktor skala proyek.
5. Pengujian dan analisis dilakukan pada skala laboratorium, sehingga hasil penelitian belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi lapangan.