

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan seluruh rangkaian kegiatan penelitian, pengujian laboratorium, serta analisis data yang telah dilakukan mengenai pengaruh substitusi *calcined clay* dan penambahan *polypropylene fiber* terhadap karakteristik mekanis beton, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi *polypropylene fiber* dan substitusi *calcined clay* memberikan pengaruh terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton dengan hasil yang bervariasi pada setiap persentase campuran. Pada umur pengujian 28 hari, variasi dengan *polypropylene fiber* 0,4% dan *calcined clay* 10% menghasilkan nilai optimum dengan kuat tekan rata-rata sebesar 36,76 MPa dan kuat lentur rata-rata sebesar 3,72 MPa. Peningkatan tersebut dipengaruhi oleh keberadaan *calcined clay* yang berperan sebagai *filler* dalam mengisi rongga pada campuran beton serta reaksi pozzolanik yang mampu meningkatkan kepadatan struktur internal beton, sedangkan *polypropylene fiber* berkontribusi dalam meningkatkan kemampuan beton menahan retak dan tegangan tarik akibat lentur.
2. Komposisi optimal pada pembuatan beton dengan penambahan *polypropylene fiber* dan substitusi *calcined clay* terhadap semen diperoleh pada campuran dengan proporsi penggunaan material tambah berupa *polypropylene fiber* 0,4% dan substitusi *calcined clay* 10% terhadap berat total semen. Nilai persentase tersebut menjadi titik optimum karena mampu memicu reaksi pozzolanik sekunder yang menghasilkan gel *Calcium Silicate Hydrate* (C-S-H) tambahan untuk memadatkan pori mikro, sekaligus didukung oleh distribusi serat yang merata dalam menahan perambatan retak (*crack bridging effect*). Komposisi

ini terbukti mampu menjaga stabilitas kemudahan pengerjaan campuran sekaligus memaksimalkan ikatan antar material penyusun beton.

3. Berdasarkan hasil analisis biaya, variasi optimum dengan penambahan *polypropylene fiber* 0,4% dan substitusi *calcined clay* 10% membutuhkan biaya produksi sebesar Rp1,309,449.86, lebih tinggi 16,95% dibandingkan beton normal dengan mutu setara 36,76 MPa sebesar Rp1.119.491,60/m³. Peningkatan biaya tersebut terutama disebabkan oleh tingginya harga material tambahan *polypropylene fiber* dan *calcined clay* pada skala laboratorium. Meskipun demikian, peningkatan biaya tersebut diikuti oleh peningkatan performa mekanis beton terutama pada kuat lentur, sehingga penerapan beton inovasi perlu dipertimbangkan tidak hanya berdasarkan biaya produksi, tetapi juga berdasarkan peningkatan kualitas dan kinerja beton yang dihasilkan.

Secara menyeluruh, penelitian dengan menggunakan perpaduan bahan pozzolan alternatif dan serat sintetis ini dinilai efektif untuk memperbaiki sifat getas (*brittle*) beton tanpa mengorbankan kekuatan struktural utamanya, sehingga berpotensi untuk diaplikasikan pada elemen konstruksi berkelanjutan.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kendala yang dihadapi selama pengujian laboratorium, beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya atau implementasi di lapangan adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian, terdapat perbedaan karakteristik fisik antara adukan beton yang menggunakan mesin *mixer* (molen) dengan pengadukan manual, di mana adukan menggunakan mesin *mixer* menghasilkan campuran yang lebih homogen, namun cenderung memiliki tingkat kelecakan yang berbeda dibandingkan dengan pengadukan manual. Oleh karena itu, pada pelaksanaan atau penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan metode pengadukan secara konsisten untuk seluruh benda uji. Selain itu, pembuatan benda uji dalam satu variasi campuran sebaiknya dilakukan pada waktu yang sama untuk menjaga keseragaman proses pencampuran dan pemadatan,

sehingga dapat meminimalkan variasi data hasil uji akibat perbedaan proses pelaksanaan.

2. Penelitian ini hanya mengevaluasi sifat mekanik beton berupa kuat tekan dan kuat lentur. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan melakukan karakterisasi mikrostruktur, seperti pengujian porositas dan *water absorption test*. Pengujian ini diperlukan untuk memverifikasi dugaan bahwa penambahan *polypropylene fiber* dapat meningkatkan porositas akibat terbentuknya rongga pada *Interfacial Transition Zone* (ITZ), sedangkan *calcined clay* berpotensi memperbaiki kepadatan mikrostruktur melalui efek *filler* dan reaksi pozzolanik. Dengan demikian, hubungan antara porositas dan peningkatan maupun penurunan kuat tekan dapat dijelaskan secara lebih komprehensif.
3. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan variasi beton dengan penambahan *polypropylene fiber* 0,4% tanpa substitusi *calcined clay*. Variasi tersebut dapat digunakan sebagai kelompok pembanding untuk mengevaluasi pengaruh substitusi *calcined clay* secara lebih spesifik terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton. Meskipun penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kadar *polypropylene fiber* 0,3–0,5% cenderung memberikan kinerja yang optimum, setiap penelitian memiliki karakteristik material, metode pencampuran, dan kondisi pengujian yang berbeda sehingga diperlukan pembanding yang berasal dari penelitian yang sama.
4. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan bahan tambah *superplasticizer* dengan dosis yang sesuai guna membantu proses pencampuran beton tanpa perlu meningkatkan faktor air-semen (*water-cement ratio*). Penggunaan *superplasticizer* diharapkan mampu meningkatkan kemudahan pencampuran sehingga distribusi *polypropylene fiber* menjadi lebih merata, mengurangi potensi penggumpalan serat (*fiber balling*), serta meningkatkan homogenitas campuran beton. Dengan demikian, interaksi antara pasta semen, agregat, *polypropylene fiber*, dan *calcined clay* dapat terbentuk secara lebih optimal sehingga pengaruh bahan tambah terhadap peningkatan kuat tekan maupun kuat lentur beton dapat terlihat secara lebih efektif.

5. Selama proses perawatan (*curing*), benda uji beton disarankan untuk ditempatkan di area yang benar-benar terlindung dari lingkungan luar langsung untuk mencegah kontaminasi organisme luar seperti pertumbuhan lumut pada permukaan spesimen yang dapat memengaruhi kebersihan dan kondisi benda uji.
6. Lakukan pemantauan secara berkala terhadap volume air di dalam kolam *curing*. Pastikan kondisi air tidak sampai menyusut, mengering, atau habis akibat proses penguapan alami.