

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium dan analisis numerik menggunakan metode elemen hingga yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Model elemen hingga berbasis Concrete Damage Plasticity (CDP) telah berhasil divalidasi dengan kinerja sangat baik. Berdasarkan Tabel 4.4, model menunjukkan rata-rata selisih 5.23% terhadap data eksperimen, dengan 90% variasi campuran memiliki error di bawah 10%. Validasi tertinggi dicapai pada beton normal (0% PWCA) dengan selisih $\leq 0.51\%$, sementara peningkatan error pada PWCA 75-100% (mencapai 10.26%) mengindikasikan kebutuhan kalibrasi parameter CDP yang lebih spesifik untuk material komposit ini.
2. Studi sensitivitas *mesh* mengungkapkan fenomena tidak konvensional dimana *mesh* 20 mm menghasilkan selisih rata-rata terkecil (4.953%) dibanding *mesh* 10 mm (5.802%). Meskipun secara numerik lebih akurat, temuan ini perlu ditinjau secara kritis mengingat prinsip konvergensi *mesh* dalam FEM. Untuk aplikasi praktis, *mesh* 20 mm dapat digunakan dengan pertimbangan efisiensi komputasi, namun disarankan melakukan studi konvergensi lebih mendalam untuk memastikan reliabilitas hasil.
3. Secara kualitatif, model numerik berhasil memprediksi mekanisme keruntuhan yang dominan. Visualisasi parameter Kerusakan Tekan (DAMAGEC) dan Tegangan von Mises menunjukkan pembentukan bidang geser diagonal (*shear failure plane*), yang polanya sangat sesuai dengan retakan fisik yang terbentuk pada benda uji hasil eksperimen. Konsistensi pola keruntuhan geser diagonal across semua variasi mengkonfirmasi bahwa model berhasil menangkap mekanisme dominan pada beton agregat plastik, berbeda dengan pola crushing vertikal yang umum pada beton konvensional.
4. Keberhasilan model dalam meniru kurva tegangan-regangan dan pola keruntuhan membuktikan bahwa parameter yang dimasukkan ke dalam model material Concrete Damaged Plasticity (CDP), yang dikalibrasi berdasarkan data eksperimental, telah mampu secara efektif meniru perilaku dari beton komposit ini.

5. Model numerik berhasil menangkap beberapa perilaku mekanik kunci yang teramati di laboratorium. Model ini secara akurat memprediksi kuat tekan puncak (*peak stress*) dan mampu mereplikasi perilaku pelunakan pasca-puncak (*post-peak softening*). Kemampuan model dalam menangkap fase pasca-puncak ini sangat penting untuk aplikasi analisis struktural non-linier, mengingat respons inelastik beton agregat plastik memiliki karakteristik yang berbeda dari beton konvensional
6. Model berhasil merepresentasikan pengaruh karakteristik agregat plastik terhadap perilaku mekanik beton. Penurunan kuat tekan seiring peningkatan PWCA (41-56%) dan perbedaan performa antara PWCA-R dan PWCA-V berhasil ditangkap oleh simulasi, mengkonfirmasi bahwa sifat hidrofobik permukaan plastik dan modulus elastisitas yang rendah menjadi faktor dominan penurunan kekuatan.

5.2. Saran

Berdasarkan temuan dan keterbatasan dalam penelitian ini, disarankan:

5.2.1. Pengembangan Model

1. Mempertimbangkan ketidaksempurnaan geometri aktual pada pemodelan silinder beton
2. Mengembangkan model heterogen yang mempertimbangkan distribusi acak agregat plastik
3. Melakukan kalibrasi parameter CDP yang lebih spesifik untuk beton agregat plastik.

5.2.2. Validasi dan Verifikasi

1. Melakukan validasi silang dengan software FEM lain (ANSYS, ATHENA, DIANA)
2. Mengembangkan pemodelan skala mikro untuk analisis zona transisi antar muka.

5.2.3. Aplikasi Praktis

1. Menyelidiki aplikasi beton agregat plastik untuk elemen struktural non-primer
2. Mengoptimasi proporsi campuran untuk keseimbangan optimal antara kekuatan dan berat.