BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis struktur menggunakan SAP2000 dan analisis numerik menggunakan metode *Finite Element Method* (FEM) berbasis perangkat lunak ABAQUS pada sambungan balok–kolom Gedung Twin Tower UPN "Veteran" Jawa Timur, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sebaran tegangan pada sambungan geser Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode FEM pada ABAQUS, sebaran tegangan pada sambungan geser tidak terjadi secara merata pada seluruh bagian sambungan. Tegangan lebih banyak terkonsentrasi pada daerah pertemuan antara balok dan kolom, terutama pada bagian sambungan yang menerima gaya dalam terbesar berdasarkan hasil analisis SAP2000. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa daerah sambungan mengalami kombinasi pengaruh gaya yang bekerja dari balok dan kolom sehingga terjadi konsentrasi tegangan dan deformasi pada daerah tersebut. Dengan demikian, penggunaan ABAQUS dapat memberikan gambaran yang lebih detail mengenai distribusi tegangan pada sambungan dibandingkan dengan hasil analisis struktur secara global menggunakan SAP2000. Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa pemodelan FEM dengan pendekatan *Concrete Damaged Plasticity* (CDP) dapat digunakan untuk menggambarkan perilaku nonlinier beton dan melihat respons lokal pada daerah sambungan.
2. Zona kritis dan potensi kerusakan pada sambungan Berdasarkan hasil analisis FEM, zona kritis terdapat pada daerah inti sambungan atau daerah pertemuan balok dan kolom yang menerima konsentrasi tegangan paling besar. Pada daerah tersebut terlihat adanya perkembangan deformasi dan kerusakan beton yang ditunjukkan melalui pola retakan pada hasil simulasi ABAQUS. Selain itu, tegangan pada tulangan juga menunjukkan bahwa daerah sambungan merupakan bagian yang perlu diperhatikan karena menerima transfer gaya dari elemen balok menuju kolom. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa semakin

besar konsentrasi tegangan pada daerah sambungan, semakin besar pula potensi terjadinya kerusakan lokal pada beton. Oleh karena itu, daerah inti sambungan dapat dikategorikan sebagai zona kritis yang perlu mendapatkan perhatian dalam perencanaan dan evaluasi struktur, terutama terhadap pembebanan yang berasal dari kombinasi beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa analisis struktur menggunakan SAP2000 dapat digunakan untuk menentukan sambungan dengan gaya dalam terbesar sebagai dasar pemilihan objek analisis, sedangkan metode FEM menggunakan ABAQUS dapat digunakan untuk melihat perilaku lokal sambungan secara lebih detail. Hasil analisis menunjukkan bahwa daerah sambungan balok–kolom merupakan salah satu bagian kritis karena terjadi konsentrasi tegangan, deformasi, dan kerusakan beton pada daerah tersebut. Oleh karena itu, hasil analisis FEM dapat digunakan sebagai analisis tambahan untuk mengevaluasi kinerja sambungan dan membantu mengidentifikasi bagian struktur yang memerlukan perhatian lebih dalam perencanaan maupun evaluasi struktur.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan proses analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya maupun pengembangan analisis struktur, yaitu sebagai berikut:

1. **Validasi model ABAQUS** perlu dilakukan dengan lebih lengkap, terutama dengan membandingkan hasil analisis numerik terhadap hasil pengujian eksperimental atau data penelitian terdahulu yang memiliki karakteristik sambungan dan pembebanan yang mendekati objek penelitian. Validasi tersebut diperlukan agar hasil pemodelan FEM dapat menggambarkan kondisi struktur yang sebenarnya dengan lebih baik.
2. Pada penelitian selanjutnya, **pemodelan material beton dan tulangan** dapat dikembangkan dengan menggunakan parameter material yang lebih lengkap dan sesuai dengan hasil pengujian material aktual di lapangan. Parameter seperti kuat tekan beton, kuat tarik beton, modulus elastisitas,

serta karakteristik tulangan dapat digunakan secara lebih spesifik agar hasil analisis ABAQUS menjadi lebih mendekati kondisi sebenarnya.

3. Analisis selanjutnya dapat menggunakan **variasi pembebanan yang lebih lengkap**, terutama pembebanan siklik atau *nonlinear time history* berdasarkan rekaman gempa aktual. Dengan demikian, perilaku sambungan terhadap beban gempa dapat diamati secara lebih mendalam, termasuk perkembangan retak, deformasi, kerusakan beton, dan perubahan kekakuan sambungan.
4. Penelitian berikutnya disarankan untuk melakukan **variasi parameter sambungan**, seperti dimensi balok dan kolom, jumlah dan diameter tulangan, jarak tulangan, serta konfigurasi rangka *truss fly over*. Variasi tersebut dapat digunakan untuk mengetahui parameter yang paling berpengaruh terhadap kapasitas dan kinerja sambungan.
5. Hasil analisis FEM pada penelitian ini dapat dikembangkan dengan melakukan **perbandingan antara hasil SAP2000 dan ABAQUS secara lebih terukur**, terutama terhadap gaya geser, tegangan, deformasi, dan perpindahan. Perbandingan tersebut dapat memberikan gambaran mengenai perbedaan antara respons struktur secara global dan perilaku lokal pada daerah sambungan.
6. Untuk penelitian selanjutnya, **mesh sensitivity analysis** atau analisis sensitivitas ukuran mesh perlu dilakukan agar dapat diketahui pengaruh ukuran mesh terhadap hasil tegangan, deformasi, dan pola kerusakan. Pemilihan ukuran mesh yang tepat dapat membantu memperoleh hasil analisis yang lebih stabil sekaligus mengurangi waktu komputasi.
7. Untuk objek Gedung Twin Tower UPN "Veteran" Jawa Timur, diperlukan **evaluasi lebih lanjut terhadap seluruh sambungan rangka *truss fly over*** apabila data struktur tersedia. Penelitian ini berfokus pada sambungan yang dipilih berdasarkan kondisi gaya dalam yang paling kritis, sehingga analisis terhadap beberapa sambungan lainnya dapat memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai kinerja sistem penghubung kedua menara.

8. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai **bahan evaluasi tambahan terhadap perencanaan struktur berdasarkan SNI**, namun hasil FEM tidak sebaiknya digunakan sebagai satu-satunya dasar untuk menyatakan keamanan keseluruhan bangunan. Evaluasi struktur secara menyeluruh tetap perlu mempertimbangkan hasil analisis global, pemeriksaan elemen struktur lainnya, kondisi aktual bangunan, serta ketentuan standar yang berlaku.