

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Penguatan balok-T dalam geser dan lentur menggunakan lembaran (*wrap/sheet*) dan pelat (*plate*) CFRP telah diteliti untuk menganalisis kapasitas pemikul beban dan mode kegagalan dibandingkan dengan beton konvensional. Respons perekatan pelat ke beton diselidiki dengan membandingkan spesimen yang menggunakan pelat dengan penjepitan (*anchored*) dan tanpa penjepitan pada ujung-ujung tumpuan. Lembaran dipasang secara basah (*wet lay-up*) di tempat, sementara pelat telah diimpregnasi dan dipultrusi selama proses manufaktur. Hasil pengujian menunjukkan metode penguatan terintegrasi ini secara signifikan meningkatkan kapasitas pemikul beban. Diperlihatkan pula bahwa penjepitan memiliki pengaruh positif tetapi tidak signifikan pada kapasitas momen dan deformasi. Pengaruh penjepitan menjadi penting karena mengubah mode kegagalan dari *debonding* menjadi *rupture* pada pelat CFRP [Han *et al.*, 2021].

Variasi pada kuat tekan dan tarik beton serta mutu baja tulangan dapat mempengaruhi kapasitas beban. Hasil simulasi numerik yang dilakukan menggunakan *software* Abaqus dengan idealisasi elemen yang meliputi balok beton, beban, dan tumpuan menunjukkan bahwa simulasi numerik dapat mencapai validasi yang baik dengan hasil pengujian eksperimental, dengan perbedaan beban saat leleh dan beban *ultimate* kurang dari 5%. Pemodelan lebih lanjut diperlukan untuk mendekati hasil eksperimental tanpa variasi pada mutu material yang digunakan, dengan pemodelan CFRP yang menggunakan *Hashin Damage* dan

*Composite Layup* serta interaksi beton menggunakan *Cohesive Behavior* [Mahendra, 2021].

Kelebihan CFRP sebagai material perkuatan eksternal adalah kekuatannya yang tinggi, ringan serta tahan karat. Pemasangan CFRP di lapangan relatif mudah dan cepat [Amran *et al.*, 2018; El Gamal *et al.*, 2019].

Pemanfaatan CFRP sebagai perkuatan eksternal dapat dimanfaatkan sebagai perkuatan lentur [Tudjono *et al.*, 2015; 2018] dan perkuatan geser, serta untuk peningkatan kuat tekan beton melalui kekangan [Devi *et al.*, 2015; Suprpto *et al.*, 2019].

Hasil pemodelan FEM Abaqus Student Edition 6.14 pada balok beton bertulang setelah diberi perkuatan CFRP Sheet 240 terhadap bidang lentur mengalami peningkatan kapasitas beban dan perbandingan kurva beban-lendutan tidak jauh berbeda dengan hasil eksperimental [Rada, 2018].

CFRP yang tersedia di pasaran dapat berupa *wrap*, *rod*, *plate*, maupun *string*. Dari segi pembuatannya, maka CFRP ini dibedakan menjadi komponen yang diimpregnasi (*pre-preg*) dan dipultrusi di pabrik, dan yang dipultrusi di lapangan. Elemen yang diimpregnasi dan dipultrusi di pabrik, dalam hal ini *rod* dan *plate*, memiliki keseragaman konfigurasi serat, serta kejenuhan impregnasi epoksi yang sempurna. Sebagai akibat proses impregnasi dan pultrusi, komponen *rod* dan *plate* lebih kaku, dan pada pengujian *rod* tampak bahwa terlepasnya lekatan (*debonding*) antara *epoxy* dengan *rod* merupakan sebab awal terjadinya keruntuhan [Han *et al.*, 2020; Sapulete, 2018].

Elemen yang dipultrusi di lapangan seperti *wrap* dan *string* cenderung tidak sesempurna proses pultrusi di pabrik, juga konfigurasi dan kelurusan serat pada arah longitudinal tidak sepenuhnya dapat dijamin. Material *wrap* akan lebih fleksibel dalam mengikuti deformasi elemen beton, namun pada *wrap* perlakuan permukaan beton sebelum penempatan *wrap* akan sangat mempengaruhi perilaku keruntuhan. Penelitian tentang respons perlakuan permukaan prapemasangan *wrap* membuktikan bahwa pengasaran permukaan dengan gerinda sedalam 3 mm sesuai dengan arahan produsen, tidak bisa mencegah terjadinya *debonding* pada antarmuka [Tudjono *et al.*, 2017].

Apabila respons lekatan permukaan ditingkatkan, maka keruntuhan ditandai dengan robeknya (*rupture*) *wrap* akibat regangan tarik yang melebihi regangan tarik batas bahan [Han *et al.*, 2020; Sapulete, 2018, Tudjono *et al.*, 2018].

Ditinjau dari posisi relatif CFRP terhadap permukaan beton maka dapat digunakan dua alternatif. Pertama adalah penempelan CFRP pada permukaan beton yang dikenal dengan *Externally Bonded Reinforcement* (EBR) dan yang kedua adalah penanaman ke dalam penampang beton yang disebut *Near Surface Mounted* (NSM). *Wrap* dan *plate* menggunakan EBR, sedangkan *rod* dan *string* menggunakan NSM. Penelitian membuktikan bahwa metode pemasangan CFRP menggunakan EBR lebih sensitif terhadap *debonding* bila dibandingkan dengan NSM [Brena *et al.*, 2003; Shin *et al.*, 2003; Katynia *et al.*, 2008]. Fakta bahwa lekatan antara CFRP dan beton lebih sempurna pada NSM juga dilaporkan oleh beberapa peneliti lain [Bilotta *et al.*, 2011; Dias *et al.*, 2018].

Pengujian lentur terhadap balok-balok yang diberi CFRP akan mengakibatkan pengurangan regangan 11,5% sampai 58,6% pada tulangan tarik, dan pengurangan regangan tekan beton 3% sampai 33,5% serta mengurangi defleksi pada balok 8% sampai 53,1%. Sedangkan tipe keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan geser pada beton, keruntuhan pada CFRP dan *debonding* pada CFRP yang mana didominasi oleh *debonding* CFRP [Kuriger *et al.*, 2001].

Pelat CFRP yang dilekatkan pada bagian bawah balok diperhitungkan sebagai satu kesatuan struktur yang menerima beban bersama-sama. Aksi komposit tersebut hanya dapat terjadi karena adanya lekatan yang baik antara kedua bahan tersebut. Peran ikatan (*bond*) sangat penting dalam menyalurkan tegangan dari beton ke CFRP atau sebaliknya. Kegagalan balok beton bertulang yang diperkuat dengan pelat CFRP selalu diawali dengan *debonding* pada pelatnya [Aprile *et al.*, 2001].

Penambahan pelat CRFP menunjukkan adanya peningkatan kapasitas *ultimate* balok sampai 132% dengan bentuk kegagalan yang tergantung pada panjang pelat CRFP. Jenis kegagalan yang terjadi antara lain kegagalan lentur dan pecahnya beton antara plat CRFP dan tulangan longitudinal pada bagian ujung plat CRFP, kegagalan pecahnya beton terjadi ketika balok diperkuat dengan pelat CRFP dengan panjang pelat terbatas [Nguyen *et al.*, 2001].

Perkuatan balok dengan CFRP tipe *wrap* sebagai perkuatan eksternal mampu menghambat retakan awal juga menahan kekuatan tarik dan lentur lebih besar daripada balok yang tidak diberi perkuatan [Agaton *et al.*, 2017].