Journal of Infrastructure and Construction Technology (2024), **2(1)**, 31–41
doi:10.56208/jictech.2.1.31-41

ARTICLE

Kajian Variasi Perkuatan Elemen Struktur Balok dengan *Steel Solid Plate*, *Jacketing*, dan *Carbon Fiber Reinforcement Polymer* (CFRP) Terhadap Ketahanan Lentur

Gandung Rahmadi,* Fauzan Deni Afra, and Ferdika

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Riau Kampus Bina Widya, Jl HR Subrantas KM 12 Pekanbaru 28293, Indonesia
*Corresponding author. Email: gandung.rahmadi7169@grad.unri.ac.id

(Received 17 Februari 2024; revised 15 April 2024; accepted 12 Mei 2024; first published online 22 Mei 2024)

Abstract

The collapse of concrete structures due to excessive loads is a serious issue that can lead to significant losses, both in terms of materials and human safety. This phenomenon is often caused by a weak understanding of the load mechanism acting on structural elements, including the interaction behavior between reinforcing steel and concrete. In both new and old buildings, damage to certain structural elements, especially beams, is inevitable. This damage occurs due to design errors in the building, mistakes during construction execution, or changes in the building's function. With the advancement of technology, there are now reinforcement methods for beam structural elements, including Steel Solid Plate, Jacketing, and Carbon Fiber Reinforcement Polymer (CFRP). These three methods will be evaluated based on deflection and strength.

Keywords: Jacketing, Steel Solid Plate, CFRP

1. Pendahuluan

Kerusakan pada bangunan baru dan lama akan terjadi setelah bangunan tersebut beroperasi. Adanya kerusakan-kerusakan pada elemen struktur sering terjadi baik pada balok maupun kolom. Kerusakan yang terjadi pada elemen struktur tersebut perlu adanya perkuatan yang tepat guna meminimalisir kerusakan yang lebih berat. Perkuatan struktur pada balok beton bertulang terjadi akibat adanya kesalahan desain, perubahan fungsi bangunan, dan adanya kesalahan saat pelaksanaan konstruksi. Ada beberapa metode perkuatan struktur pada balok beton bertulangan di antaranya perkuatan balok beton bertulang dengan steel solid plate, perkuatan dengan jacketing, dan perkuatan dengan carbon fiber reinforcement polymer (CFRP).

Metode perkuatan dengan steel solid plate dapat membatasi daktilitas pada balok. Plat balok dapat mengalami kegagalan getas secara tiba – tiba jika sambungan pada pembatas plat tidak mampu menyalurkan beban antara plat dan balok. Metode perkuatan jacketing dapat meningkatkan kekuatan

© 2024. This is an Open Access article, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution licence (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted re-use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

pada balok dengan pembesaran penampang dan penggunaan tulangan ekstra. Sedangkan metode carbon fiber reinforcement polymer merupakan metode perkuatan yang mampu menahan benturan dan mampu meningkatkan kekuatan lentur. Secara umum untuk kegagalan struktur yang menggunakan perkuatan FRP ini ialah:

- Kegagalan lentur terjadi akibat beton hancur dan rusaknya tulangan tarik
- Kegagalan geser terjadi akibat tulangan transversal tidak memadai
- Pemisahan penutup beton dan pelepasan FRP

Menurut Palungan, Dayera, and Fatem (2021), defleksi atau lendutan merupakan perubahan balok dalam arah Y karena diakibatkan oleh beban yang terjadi secara vertikal. Sedangkan menurut Christiawan (2011) perkuatan (strengthening) merupakan suatu perubahan untuk memodifikasi struktur dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan dalam memikul beban-beban yang terjadi pada struktur Pada paper ini akan mengkaji tiga metode perkuatan pada elemen struktur balok.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Review Perkuatan dengan Metode Jacketing

Menurut Khoeri (2020), Concrete Jacketing merupakan perkuatan beton dengan cara menyeliputi beton yang telah ada dengan beton tambahan. Pada penelitian Tahsiri et al. (2015) untuk eksperimental jacketing balok beton bertulang spesimen awal di desain dengan panjang 2100 mm dengan tinggi 250 mm dan lebar 150 mm dan ketika di jacketing ukuran balok menjadi tinggi 300 mm dan lebar 250 mm. Tulangan tarik dan tekan awal digunakan 2 Ø 10 dan tulangan transversal Ø 10 – 100 mm ketika menggunakan perkuatan jacketing terdapat 2 spesimen menggunakan tulangan tarik 2Ø10 dan 2Ø8. Dibawah ini merupakan gambar dari pengujian jacketing.

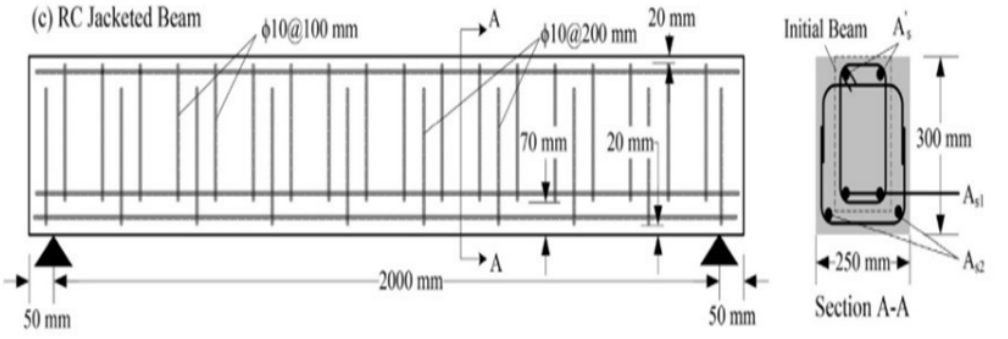


Figure 1. Model balok dengan perkuatan jacketing (Tahsiri et al. 2015)

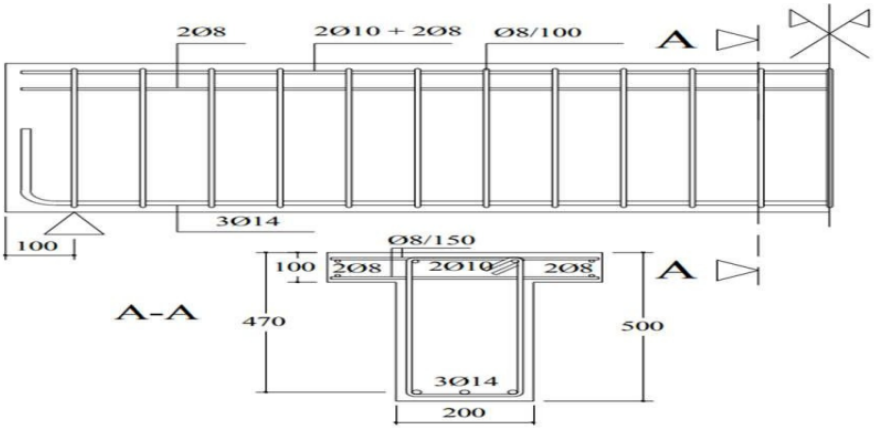
Uji kuat tekan unaxial dilakukan pada benda uji silinder standar. Rata-rata kuat tekan beton di ukur 31 MPa setelah 28 hari pengerasan beton. Untuk pengaturan pengujian kuat lentur percobaan dilakukan dengan mengontrol perpindahan melebihi defleksi di tengah bentang sebesar 80 mm. Pembebanan statis dengan kapasitas 280 kN. Tampilan pengujian seperti pada Gambar 2.

2.2 Review Metode Perkuatan Steel Solid Plate

Berdasarkan penelitian (Ozbek et al., 2016) menggunakan balok – T dengan lebar 200 mm, tinggi 500 mm, dan panjang 4500 mm. Flange memiliki ketebalan sebesar 100 mm dengan lebar 400 mm. specimen tersebut di perkuat dengan tulangan tarik 3Ø14 dan tulangan tekan 2Ø10 dan 4Ø8.

Figure 2. Pengujian Draindown (Tahsiri et al. 2015)

Slab berisi tulangan Ø8 – 300 mm dan Ø8 – 150 mm pada bagian bawah dan atas. Tulangan yang digunakan ialah tulangan mutu 420. Model balok acuan ditampilkan pada Gambar 3.



(Ozbek, Bocek, and Aycak 2016)

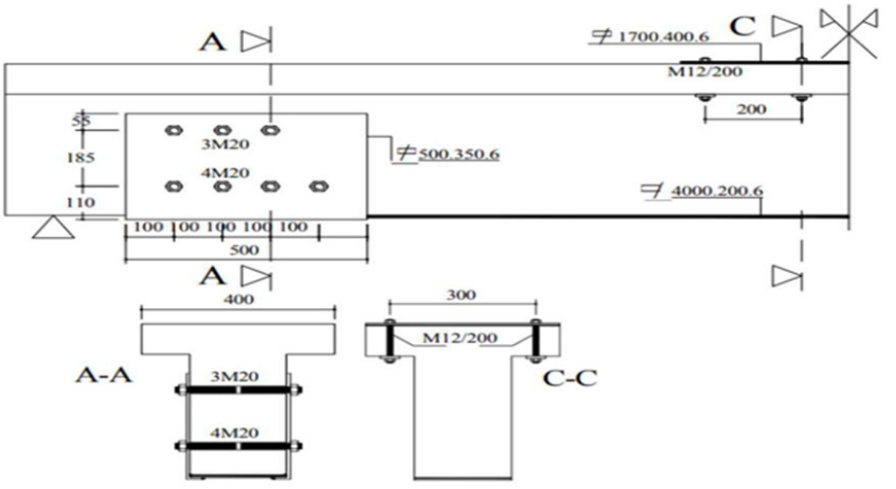
Figure 3. Model balok acuan untuk metode perkuatan steel solid plate

Untuk steel solid plate diletakkan pada alat uji kode S2 dan S3 memiliki lebar 400 mm, dengan tebal 6 mm dan panjang 1700 mm. Plat ini membentang sekitar 80% dari jarak titik momen nol dalam bentang. Gambar 4 menunjukkan posisi perletakan perkuatan steel solid plate.

Pengujian ini diberi beban dua titik dan hasil yang dapat disimpulkan dari penelitian ini ialah plat eksternal mampu meningkatkan beban leleh pada pelat balok dengan kisaran 150 – 170% dan beban ultimit sebesar 130 – 160% dan perkuatan pelat menghasilkan penurunan daktilitas sekaligus meningkatkan nilai modulus ketangguhannya. Gambar 5 menunjukkan alat pengujian ketahanan lentur balok spesimen.

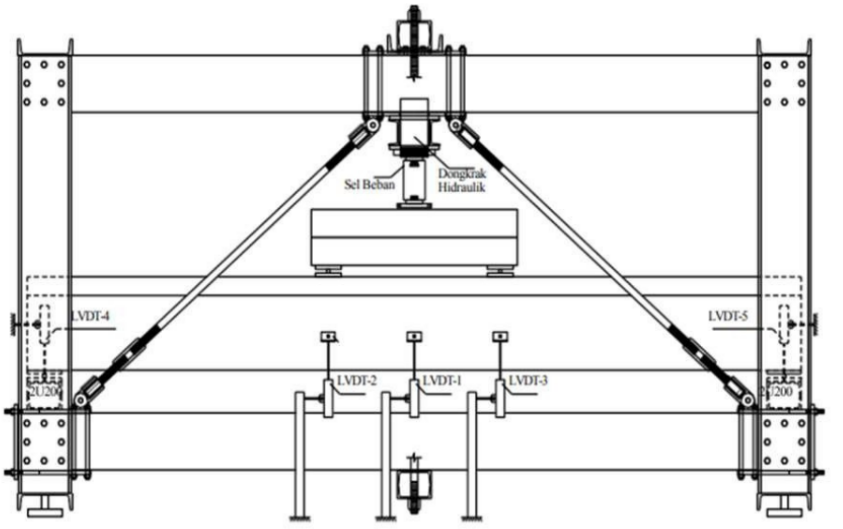
2.3 Review Perkuatan dengan Metode Carbon Fiber Reinforcement Polymer (CFRP)

CFRP merupakan suatu metode perkuatan elemen struktur balok yang mampu menahan lentur dan terpasang pada bagian bawah balok. Berdasarkan sifat mekanisnya CFRP memiliki kuat tarik yang sangat tinggi (Utami and Sutantiningrum 2019). Menurut Ruslan et al. (2015) kemampuan CFRP



(Ozbek, Bocek, and Aycak 2016)

Figure 4. Model balok S2 dan S3

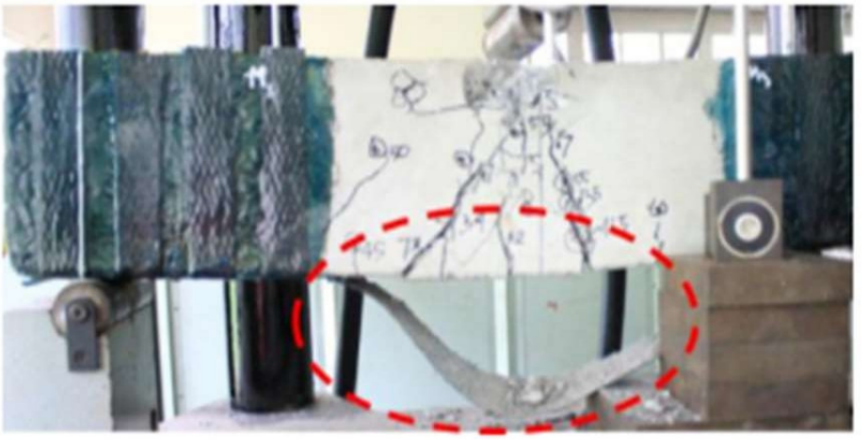


(Ozbek, Bocek, and Aycak 2016)

Figure 5. Pengaturan alat pengujian

sebagai perkuatan struktur beton sangat bergantung dengan permukaan beton, apabila permukaan beton sudah rusak dalam hal ini selimut beton maka CFRP tidak akan optimal berperan sebagai perkuatan. Gambar 6 menunjukkan lapisan CFRP yang lepas dari permukaan beton.

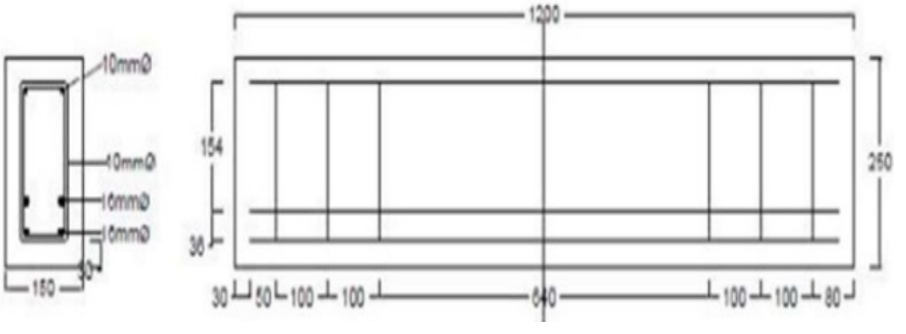
Berdasarkan penelitian Kim et al. (2017) menggunakan material komposit untuk melindungi beton dari gaya tumbukan. Efek perkuatan ikatan CFRP dengan ketebalan 2 mm dan 8 mm. Balok beton dengan lebar 150 mm, tinggi 200 mm, dan panjang 1200 mm mengalami beberapa kali tumbukan dengan beban 461 kg dari ketinggian 300 mm sampai balok tersebut mengalami



(Ruslan et al. 2015)

Figure 6. CFRP sheet yang lepas dari permukaan beton

kegagalan. Gambar 7 menampilkan model balok acuan untuk semua spesimen dalam penelitian Kim et al. (2017), Gambar 8 menunjukkan posisi perletakan CFRP pada balok



(Kim et al. 2017)

Figure 7. Model balok acuan untuk metode perkuatan CFRP

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan uji beban jatuh, beton dengan kuat tekan 35 MPa dengan tulangan SD 400. Kemudian polimer yang diperkuat serat karbon (C200) dengan ikatan epoksi guna melekatkan lembaran CFRP pada balok. Arah letak serat karbon sejajar dengan tinggi balok seperti gambar 8. Gambar 9 merupakan alat pengujian yang digunakan untuk mengetahui ketahanan lentur balok dengan dan tanpa metode perkuatan CRFP.

3. Metode Menelitian

3.1 Bagan Alir

3.2 Studi literatur

Studi literatur yang di bahas mengenai studi – studi terdahulu yang pernah melakukan penelitian dengan metode perkuatan tersebut serta dari studi literatur ini, akan di lakukan kajian metode perkuatan elemen struktur balok terhadap defleksi dan ketahanan lenturnya.

(Kim et al. 2017)

Figure 8. Posisi perletakan CRFP

(Kim et al. 2017)

Figure 9. Alat uji beban jatuh (Drop Weight Test)

3.3 Kajian metode perkuatan

Metode perkuatan yang di kaji dalam paper ini tiga dari berbagai variasi perkuatan struktur yang sudah ada antara lain meliputi, steel solid plate, jacketing, dan carbon fiber reinforcement polymer (CFRP)

4. Hasil dan Pembahasan

Berbagai penelitian menyebutkan bahwa perkuatan struktur dengan metode steel plate bonding, CFRP dan metode konvesional jacketing reinforcement terbukti cukup meningkatkan kemampuan struktur beton terhadap ketahanan lentur. Peningkatan ketahanan lentur dapat ditinjau berdasarkan nilai defleksi yang terjadi pada tengah bentang karena defleksi maksimum terjadi pada area tersebut.

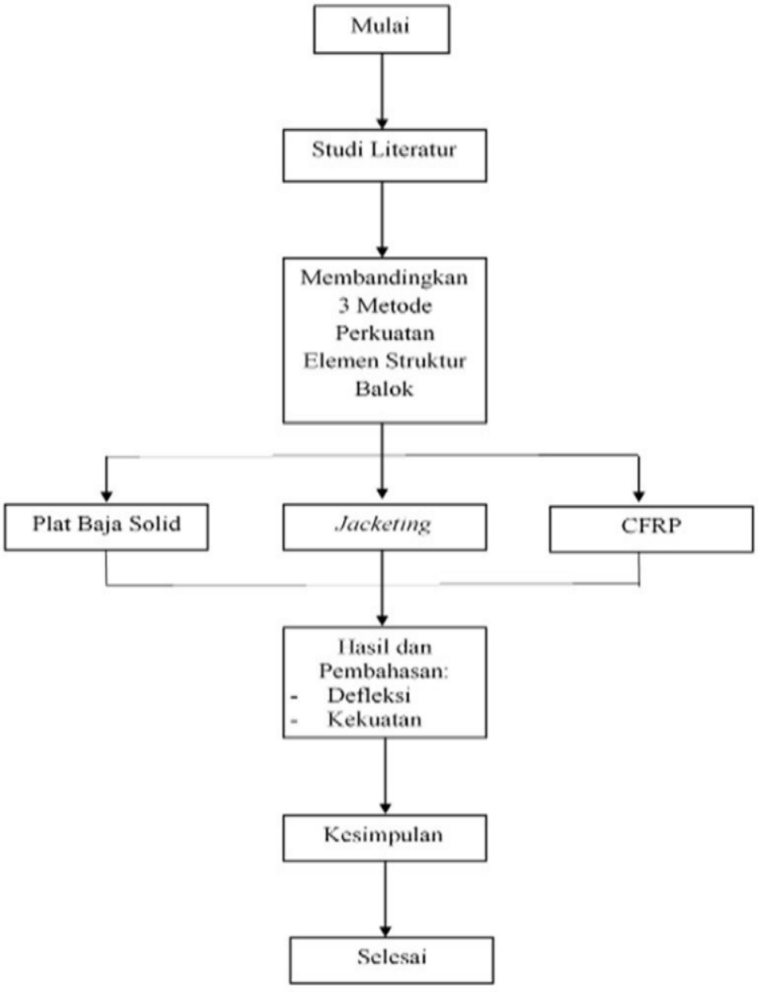


Figure 10. Bagan Alir

Nilai defleksi diperoleh dari pengujian desdruktif yaitu uji kuat lentur.

Variasi spesimen terhadap dimensi elemen balok beton yang digunakan, mutu beton, mutu baja tulangan, luas tulangan di dalam beton, sistem perkuatan yang dipilih dan variasi metode perkuatan semuanya disajikan dalam Tabel 1. Spesimen diambil berdasarkan pengujian yang telah dilakukan oleh Ozbek, Bocek, and Aycak (2016), kemudian pengujian yang telah dilakukan oleh Tahsiri et al. (2015) serta pengujian yang telah dilakukan oleh Kim et al. (2017).

Salah satu fenomena fundamental yang perlu diwaspadai pada balok beton bertulang adalah keruntuhan gagal lentur di tengah bentang. Ketika beban yang diterima oleh balok melebihi kapasitas desain, balok akan mengalami defleksi yang signifikan pada bagian tengahnya. Defleksi ini adalah indikasi awal bahwa balok tersebut sedang berada dalam kondisi kritis plastis dan mendekati titik kegagalannya. Pola ini terjadi karena serat beton bagian bawah mengalami gaya tarik yang berlebih sementara bagian atas mengalami tekanan yang terlalu tinggi, mengakibatkan retakan kemudian keruntuhan. Oleh karena itu, peninjauan terhadap defleksi dianggap sangat penting untuk

Table 1. Variasi spesimen dari berbagai peneliti

Notasi	b(mm)x h(mm)	Elemen (mm)	Tulangan tarik (mm^2)	Tulangan tekan (mm^2)	Sistem Perkuatan
121	150 x 250	2100	226,2	157,08	-
124	250 x 300	2100	226,2	157,08	Jacketing (Add Rebar 100,53 (mm^2)
125	250 x 300	2100	226,2	157,08	Jacketing (Add Rebar 157,08 (mm^2)
RB	200 x 500	4500	461,81	358,14	-
S1	200 x 500	4500	461,81	358,14	Add bottom steel plate with epoxy
S2	200 x 500	4500	461,81	358,14	Add Upper & bottom steel plate without epoxy
S3	200 x 500	4500	461,81	358,14	Add Upper & bottom steel plate with epoxy
RC_1	150 x 250	1200	314,16	157,08	-
RC_20FRP	150 x 250	1200	314,16	157,08	Add CFRP, Wrapping Width 20 mm
RC_40FRP	150 x 250	1200	314,16	157,08	Add CFRP, Wrapping Width 40 mm

memastikan keamanan struktur secara global. Gambar 11 menyajikan retakan pada bagian tengah bentang balok sebagai representasi pola keruntuhan lentur balok.

Gambar 12, 13, dan 14 menyajikan hasil pengujian balok bertulang dengan dan tanpa berbagai variasi perkuatan sesuai dengan Tabel 1. Dilakukan perbandingan besaran defleksi terhadap beban yang telah diteliti oleh peneliti sebelumnya.

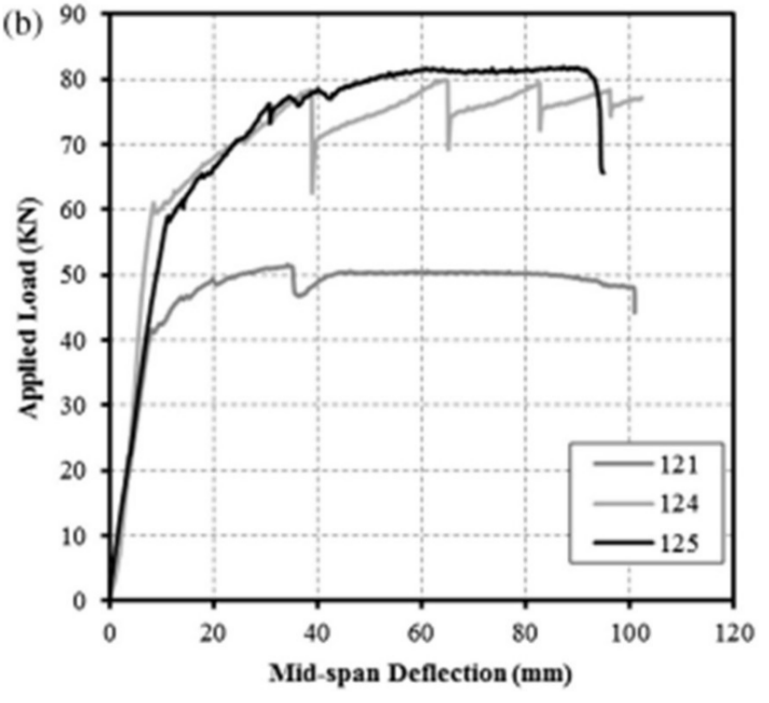
Berdasarkan gambar 12 menunjukkan bahwa perkuatan struktur metode konvensional jacketing reinforcement cukup mampu meningkatkan ketahanan lentur yang ditinjau dari besaran defleksinya. Pada balok tanpa perkuatan dengan beban maksimum ±50 kN defleksi yang terjadi sebesar 10 cm sementara jika diberikan perkuatan balok mampu menerima beban ±80 kN agar mencapai besaran defleksi yang sama dengan balok tanpa perkuatan. Grafik tersebut juga menunjukkan semakin besar luasan tulangan tarik yang digunakan maka membuat perilaku defleksi balok terhadap beban semakin konsisten. Persentase peningkatan resistensi akibat perkuatan jacketing reinforcement relatif mencapai 60% dibandingkan dengan balok tanpa perkuatan.

Berdasarkan gambar 13 menunjukkan peningkatan daya dukung beban yang sangat signifikan terjadi akibat diberikan perkuatan "Steel plate bonding" bahkan besaran peningkatan ini mencapai 2,3-2,7 kali dibandingkan balok tanpa perkuatan. Spesimen S2 dan S3 yang diperkuat pelat tekan menghasilkan daya dukung beban yang kurang atau lebih tinggi dibandingkan nilai spesimen S1 yang tanpa diperkuat pelat tekan artinya pelat tekan memiliki pengaruh yang kecil terhadap daya dukung beban.

Gambar 14 menyajikan hasil pengujian balok dengan dan tanpa perkuatan CFRP menggunakan uji tes beban impak. Pada gambar 4(a) diperlihatkan balok tanpa perkuatan memiliki besaran

(Khoeri 2020)

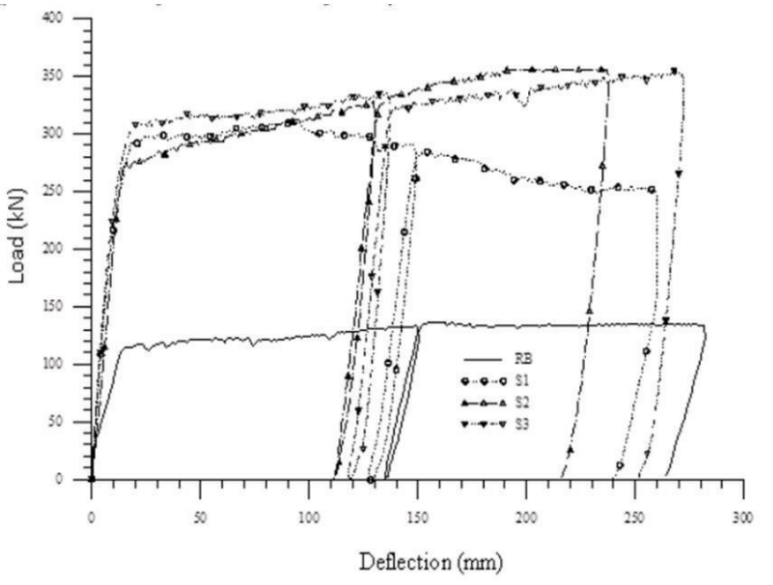
Figure 11. Tipikal pola keruntuhan lentur balok



(Tahsiri et al. 2015)

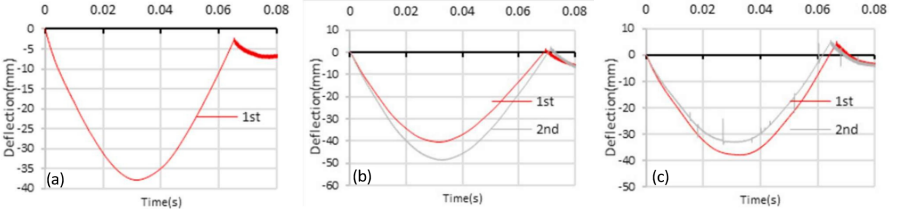
Figure 12. Perilaku beban – defleksi terhadap balok dengan perkuatan jacketing

defleksi sekitar 35 – 40 mm sebelum mengalami kegagalan total akibat satu kali benturan dari beban impak sebesar 461 kg dengan tinggi jatuh 300 mm. Pada gambar 4(b) dan gambar 4(c)



(Ozbek, Bocek, and Aycak 2016)

Figure 13. Perilaku beban – defleksi terhadap balok dengan perkuatan steel plate bonding



(a) Defleksi balok RC_1 **(b)** Defleksi balok RC_20FRP **(c)** Defleksi balok RC_40FRP

(Kim et al. 2017)

Figure 14. Grafik defleksi balok terhadap fungsi waktu dari beban impak

menunjukkan fenomena yang menarik dari balok yang diperkuat oleh CFRP karena balok tidak langsung mengalami kegagalan total pada benturan pertama bahkan pada fase tersebut besaran defleksi yang diperoleh relatif sama dengan balok tanpa diperkuat. Hal ini menunjukkan bahwa perkuatan menggunakan CFRP cukup mampu meningkatkan ketahanan serta kekakuan balok terhadap beban ekstrem.

5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan kajian studi literatur terkait riview perkuatan struktur balok beton bertulang dengan metode jacketing reinforcement, steel plate bonding, carbon fiber reinforced polymer (CFRP) dapat disimpulkan antara lain meliputi:

- Ketiga metode perkuatan struktur dinilai cukup efektif dalam meningkatkan resistensi balok terhadap keruntuhan lentur
- Metode jacketing reinforcement terbukti secara eksperimental meningkatkan ketahanan lentur mencapai 60% dibandingkan balok tanpa diperkuat

- Metode steel plate bonding terbukti secara eksperimental meningkatkan ketahanan lentur mencapai 2,3 – 2,7 kali dibandingkan balok tanpa diperkuat, penggunaan pelat ujung dan pelat soffit yang diikat dengan bantuan baut M12 dinilai cukup mampu mensubstitusikan penggunaan epoxy apabila epoxy tidak dapat digunakan dengan alasan tertentu. Metode ini juga cenderung menurukan daktilitas balok
- Metode CFRP terbukti memiliki respons yang jauh lebih baik terhadap beban dinamis dibandingkan balok tanpa perkuatan. Metode ini cocok untuk struktur yang membutuhkan kekakuan dan resistensi yang tinggi terutama pada area rawan gempa yang memiliki potensi dampak ekstrem.

References

Christiawan, Ignatius. 2011. Perkuatan (strengthening) struktur kolom dengan metode penambahan tulangan. *Gema Teknologi* 16, no. 3 (April). https://doi.org/10.14710/gt.v16i3.4711.

Khoeri, Heri. 2020. Pemilihan metode perbaikan dan perkuatan struktur akibat gempa (studi kasus pada bank sulteng palu). *Konstruksia* 12 (1): 93–104. https://doi.org/10.24853/jk.12.1.93-104.

Kim, Myeongjung, Ashesh Pokhrel, Daegyun Jung, Seungwon Kim, and Cheolwoo Park. 2017. The strengthening effect of cfrp for reinforced concrete beam. Performance of materials and structures under extreme conditions, *Procedia Engineering* 210:141–147. ISSN: 1877-7058. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.11.059.

Ozbek, Eray, Meryem Bocek, and S Aycak. 2016. Strengthening of rc beams with solid steel plates. *Athens Journal of Technology & Engineering* 3 (4): 291–298.

Palungan, Musa Bondaris, Disabella Dayera, and Marthinus Fatem. 2021. Analisa balok kantilever dengan beban tidak terbagi merata. *JEECAE (Journal of Electrical, Electronics, Control, and Automotive Engineering)* 6, no. 2 (November): 51–55.

Ruslan, Ujang, et al. 2015. Delaminasi lapis majemuk cfrp pada balok beton bertulang skala terbatas. *Jurnal Jalan Jembatan* 32 (1): 61–74.

Tahsiri, Hamidreza, Omid Sedehi, Alireza Khaloo, and Elias Molaei Raisi. 2015. Experimental study of rc jacketed and cfrp strengthened rc beams. *Construction and Building Materials* 95:476–485. ISSN: 0950-0618. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.161.

Utami, Sri Rejeki, and Kartika Sutantiningrum. 2019. Analisis perhitungan geser balok normal dengan geser balok perlakuan carbon fiber reinforced polymer (cfrp) terhadap balok beton bertulang. *Jurnal Kajian Teknik Sipil* 4 (1): 35–47. ISSN: 25028456. https://doi.org/10.52447/jkts.v4i1.1428.