

ARTICLE

Perkuatan Struktur Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan *Steel Plate*

Aldrin Dhio Pratama,^{*}¹ Meidian Saputra,² Rahmadani,³ and Chandra Wibisono⁴

¹Nature Arch Studio

²PT. Nagamas Mitra Usaha

³Universitas Rokania

⁴PT. Adhi Karya (Persero) Tbk

^{*}Corresponding author. Email: aldrindhioprata16@gmail.com

(Received 18 Desember 2023; revised 22 Februari 2024; accepted 4 Maret 2024; first published online 24 Maret 2024)

Abstract

Reinforced concrete beams play a crucial role in structural systems by bearing vertical loads and transferring forces to other structural elements. As the demand for stronger and more durable structures increases, various strengthening methods have been developed, one of which is the use of steel plates. This technique enhances the flexural and shear capacity of reinforced concrete beams by externally attaching steel plates to their surfaces. The strengthening process using steel plates involves several steps, including surface preparation, plate installation using bolts or adhesives, and testing to evaluate its effectiveness. Experimental tests on strengthened beams indicate an increase in load-bearing capacity and a reduction in deflection compared to unreinforced beams. Additionally, the application of steel plates helps delay crack formation and enhances structural stiffness. Despite its effectiveness, this technique presents challenges, such as the risk of delamination due to weak bonding between steel and concrete, as well as potential reductions in structural ductility. Therefore, an optimal installation method is essential to ensure that steel plates deliver maximum benefits in enhancing the structural performance of reinforced concrete beams.

Keywords: Reinforced concrete beams, steel plate, structural strengthening, flexural capacity, shear capacity

1. Pendahuluan

Struktur beton bertulang merupakan salah satu elemen penting dalam konstruksi bangunan, jembatan, dan berbagai infrastruktur lainnya. Beton bertulang dirancang untuk menahan beban vertikal dan lateral, yang menyebabkan munculnya gaya geser serta momen lentur. Dalam praktik konstruksi, balok beton bertulang berperan dalam mentransfer beban dari lantai atau atap ke kolom dan fondasi, sehingga memastikan kestabilan dan daktilitas struktur secara keseluruhan. Seiring dengan berkembangnya teknologi dan meningkatnya kebutuhan akan struktur yang lebih kuat dan tahan lama, teknik perkuatan balok beton bertulang semakin banyak dikembangkan.

Penelitian yang dilakukan oleh Yazal and Mohammed (2023) menunjukkan bahwa penggunaan *steel plate bonding* pada pelat lantai beton berongga mampu meningkatkan kapasitas momen lentur secara signifikan, memperlambat munculnya retak pertama, serta mengurangi lebar retak yang

terjadi. Namun, penelitian ini juga menyoroti beberapa kelemahan dari teknologi bonding eksternal menggunakan pelat baja, seperti potensi delaminasi pada ujung pelat, korosi, serta keterbatasan dalam fleksibilitas pemasangan pada permukaan yang tidak rata. Oleh karena itu, diperlukan teknik pemasangan yang optimal agar perkuatan dapat berjalan secara efektif tanpa mengurangi daktilitas struktur.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Tawfic, A.Soltan, and B. Saddek (2021) menekankan pentingnya interaksi antara baja dan beton dalam sistem balok komposit. Dalam penelitian ini, penggunaan pelat baja sebagai pengganti tulangan tarik pada balok komposit beton-baja dengan rasio tulangan rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pelat baja dengan kekuatan tarik tinggi dapat meningkatkan kapasitas beban ultimate hingga 40% dibandingkan dengan balok komposit dengan tulangan baja konvensional. Namun, ketika menggunakan *mild steel plate*, kapasitas beban cenderung menurun, yang menunjukkan bahwa pemilihan jenis baja juga berperan dalam efektivitas perkuatan.

Selain itu, penelitian Alasadi et al. (2020) mengeksplorasi penggunaan *bolt-compression steel plate* (BCSP) untuk meningkatkan kapasitas lentur dan menghindari kegagalan getas pada balok beton bertulang yang over-reinforced. Lebih lanjut, penelitian oleh Kisała (2016) mengevaluasi pengaruh permukaan slip pada defleksi balok komposit beton *steel plate* menggunakan metode elemen hingga. Studi ini menunjukkan bahwa metode standar dalam kode desain tidak sepenuhnya akurat dalam memperkirakan defleksi balok semacam ini. Hal ini disebabkan oleh adanya efek slip pada antarmuka beton dan baja yang tidak diperhitungkan dalam metode perhitungan konvensional. Dengan mempertimbangkan kekakuan sambungan geser dalam pemodelan numerik, sehingga defleksi dapat ditingkatkan secara signifikan. Maka dari beberapa yang melatar belakangi dilakukan review dari penelitian terdahulu mengenai perkuatan struktur balok beton bertulang dengan menggunakan *steel plate*.

2. Tinjauan Pustaka

Penggunaan *Steel Plate* dapat membatasi daktilitas pada perkuatan balok. Balok dapat mengalami kegagalan getas terutama jika sambungan pada pembatas pelat tidak mampu menyalurkan beban antara pelat dan balok (Ozbek, Bocek, and Aycak 2016). *Steel Plate* yang dibaut digunakan untuk perkuatan eksternal pada beton bertulang baik dalam lenter dan geser. *Steel Plate* masih tetap menjadi pilihan sebagai perkuatan karena perilaku tegangan-regangan yang baik, sifat kekakuan yang tinggi, dan potensi penggunaan material yang mengarah pada penghematan biaya dan kelestarian lingkungan yang lebih besar (Napoli, Martinelli, and Pecce 2024),

3. Metode Penelitian

Berbagai penelitian memiliki metode masing-masing. Pada penelitian Pangestuti et al. (2023) menggunakan benda uji yang terdiri dari 5 balok T dengan mutu beton 10 MPa, yaitu 1 balok kontrol (BK), 2 balok dengan penambahan pelat selebar 150 mm, dan 2 balok dengan penambahan pelat selebar 300 mm. Ukuran balok T yang digunakan dengan lebar sayap 75 mm dan tinggi sayap 80 mm, lebar bawah 150 mm, tinggi 250 mm dan lebar atas 300 mm. Balok T diperkuat dengan empat batang tulangan tarik berdiameter 16 mm dan dua batang tulangan tekan dengan diameter 8 mm berikut gambar 1 dibawah ini.

Pengujian sampel dilakukan berupa uji lentur dengan benda uji diletakkan diatas rangka pembebanan yang diberi tumpuan sendi dan rol. Pembebanan diberikan pada dua titik yang berjarak 440 mm dari masing-masing tumpuan. Meletakkan tiga alat pengukur dibawah balok untuk membaca seberapa besar defleksi pada balok. Dial Gauge ditempatkan ditengah bentang balok dan di bawah titik pembebanan. Pembebanan dilakukan dengan menggunakan dongkrak hidrolik dengan kapasitas 20 ton dan beban dengan interval kenaikan sebesar 500 kg. Pengaturan uji lentur dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini.

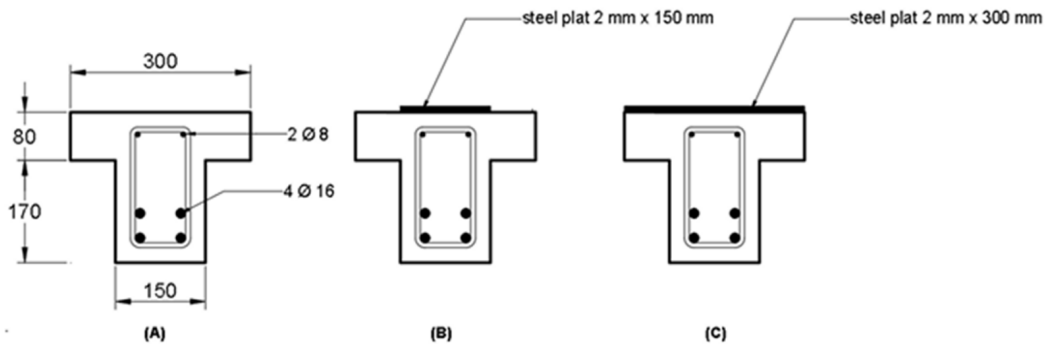


Figure 1. (A) Potongan Balok Kontrol, (B) Penampang BP1, (C) Penampang BP2 (Pangestuti et al. 2023)

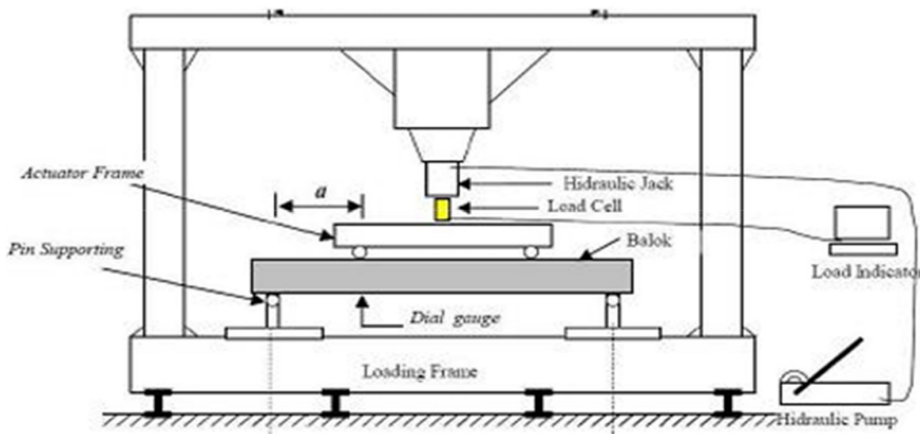


Figure 2. Alat uji lentur balok (Pangestuti et al. 2023)

Pada penelitian Sudarsana, Sajana, and Suputra (2019) metode penelitian yang dilakukan berupa balok beton ukuran 150 x 200 x 1500 mm dengan luas tulangan lentur sebesar 289,8 mm² (2D 10 mm + 1 D13 mm) dan sengkang diameter 6 mm dengan jarak 125 mm sepanjang balok. Memiliki 3 balok kontrol, 3 balok dengan perkuatan L-Shape Plate dan 3 lainnya menggunakan U-Shape. Pemasangan *steel plate* untuk perkuatan geser pada benda uji B-PLBF dan B-PBF setelah beton berumur 14 hari. Pertama-tama permukaan beton dilapisi dengan lembaran sandblasting untuk meratakan permukaan, kemudian dibor tiga lubang pada setiap zona geser melalui badan balok untuk memasang baut. Permukaan beton dan lubang dibersihkan dan disedot untuk menghilangkan semua debu dan partikel lainnya. Baut dipasang melalui lubang dan di-grout menggunakan sika anchor fix-2 sampai semua ruang antar lubang dan batang terisi penuh. Kemudian *steel plate* dipasang dan dikencangkan menggunakan mur pada kedua ujung batang ulir. Celah antara *steel plate* dan permukaan beton di-grout menggunakan sika grout 215. Prosedur yang sama diterapkan pada *steel plate* bentuk L dan U. Detail geometri semua benda uji dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini.

Pengujian semua balok dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari dengan empat titik pembebanan. Balok hanya ditumpu dengan posisi beban 230 mm dari tumpuan yang memberikan rasio bentang geser terhadap kedalaman (a/d) sebesar 1.7. Dua pengukuran mekanis (atau dial) digunakan untuk mengukur lendutan balok bentang tengah selama pengujian pada masing-masing

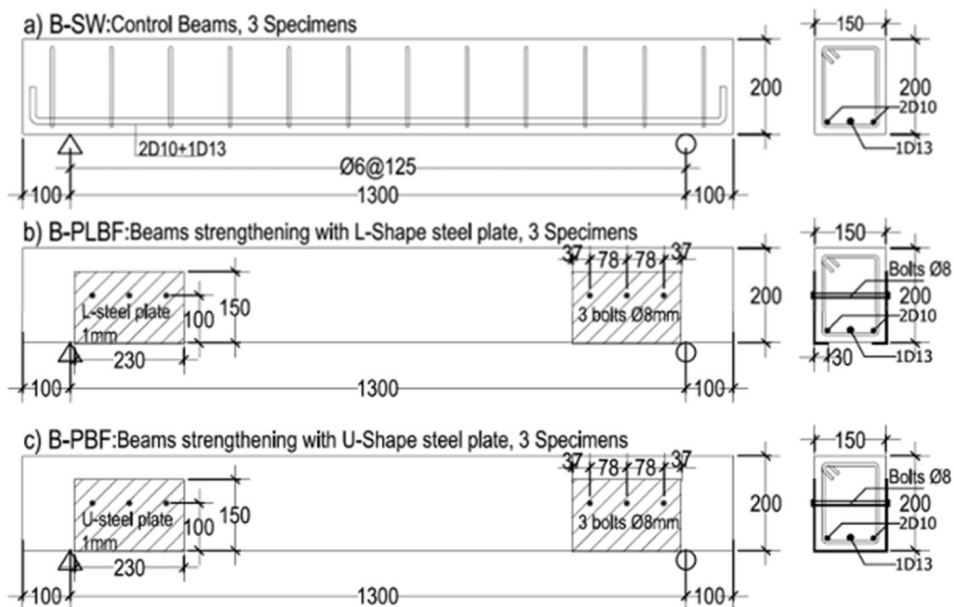


Figure 3. Detail geometri dan tulangan pada benda uji (Sudarsana, Sajana, and Suputra 2019)

kenaikan beban sebesar 2,5 kN. Pemasangan benda uji dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini.

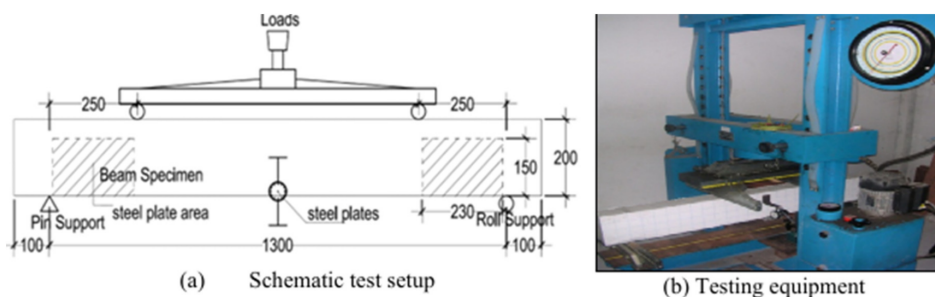


Figure 4. Empat titik pemasangan uji beban (a) skema pengaturan pengujian, (b) peralatan pengujian (Sudarsana, Sajana, and Suputra 2019)

Pada penelitian Eklou *et al.* (2021) tulangan baja yang digunakan memiliki diameter sebesar 10 mm, 22 mm, dan 25 mm. Untuk *steel plate strip* memiliki penampang nominal 3 x 26 mm. Beton memiliki kuat tekan sebesar 13,51 MPa. Berikut merupakan Gambar 5 *steel plate strip*.

Pada penelitian ini memiliki dua sampel balok yang akan di uji. Satu benda uji menggunakan *steel plate strip* 3 x 26 mm sebagai tulangan geser, sedangkan balok lainnya sebagai balok referensi dengan menggunakan sengkang dengan diameter 10 mm. Tempat pengujian diletakkan diantara dua tumpuan sederhana dan sisa panjang balok digantung di kedua ujungnya. Pasa semua balok, tulangan lentur terdiri dari 3 D 22 dan 2 D 25 yang sesuai dengan rasio tulangan tarik 2,02% dan tambahan 2 D 10 tulangan longitudinal di zona tekan. Untuk pembebanan dilakukan dengan dongkrak hidrolik berkapasitas 500 kN. Berikut dapat di lihat detail pemasangan pada Gambar 6 dibawah ini.

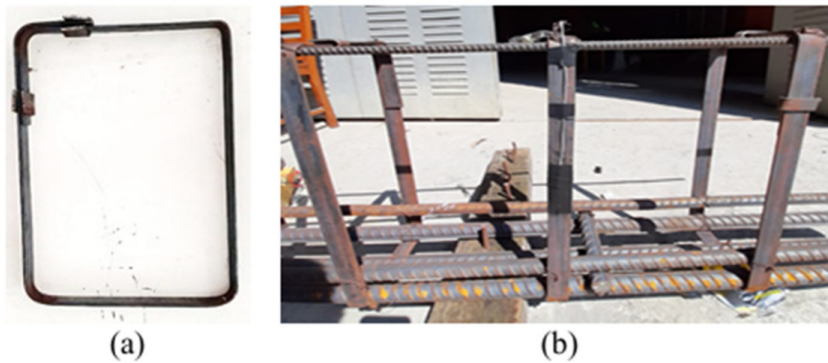
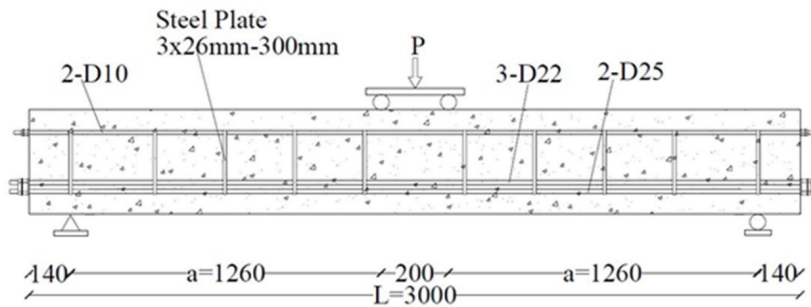
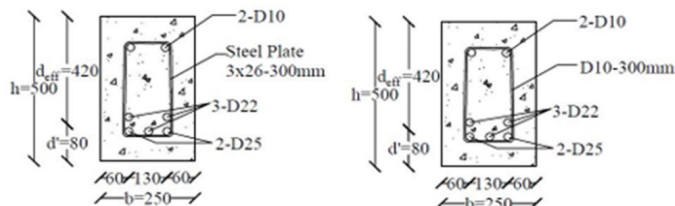


Figure 5. Detail pemasangan *steel plate strip* sebagai tulangan geser (Eklou et al. 2021)



(a) Typical elevation view of beam specimens.



(b) B-S300

(c) B-K300

Figure 6. Detail tulangan dan potongan (Eklou et al. 2021)

4. Hasil dan Pembahasan

Dari beberapa penelitian berbagai macam hasil yang didapat ketika melakukan pengujian perkutaan *steel plate* pada balok. Dari penelitian Abed Shnait and Izzet (2024) hasil dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8 dibawah ini.

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa defleksi dari efek bukaan tanpa *steel plate* untuk benda uji R. Solid lebih besar dari pada benda uji lainnya dan beban yang mampu ditahan pun juga lebih besar, sehingga kinerja lentur untuk benda uji R. Solid lebih baik dari pada benda uji lainnya.

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa defleksi dari efek bukaan dengan *steel plate* untuk

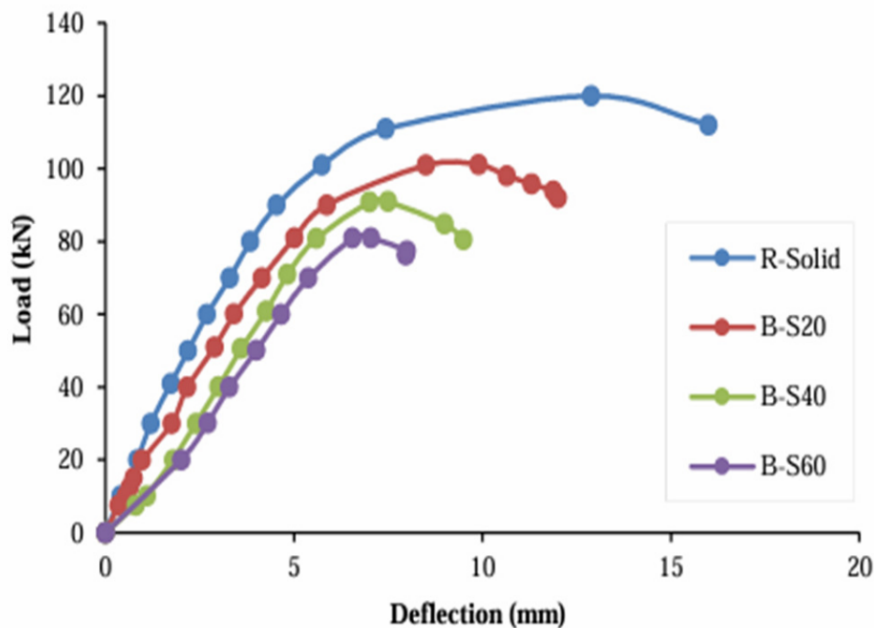


Figure 7. Defleksi dari efek bukaan tanpa *steel plate* (Abed Shnait and Izzet 2024)

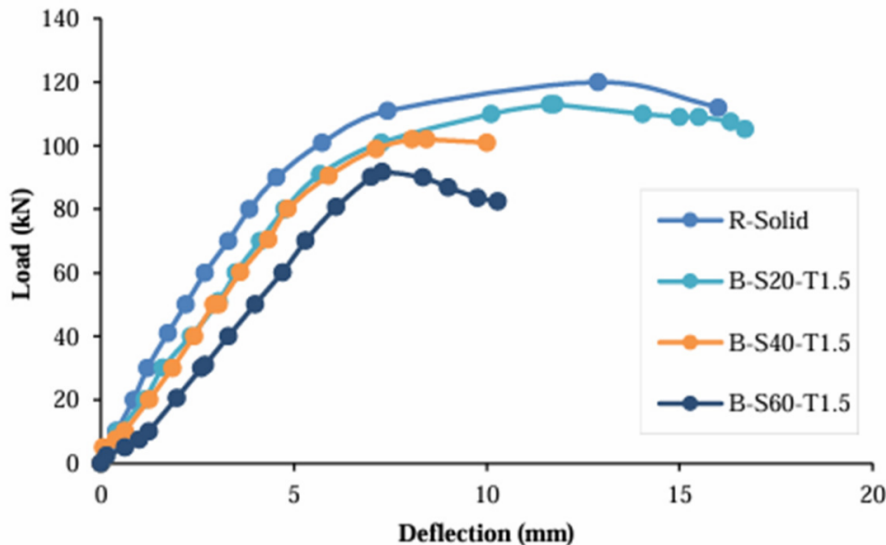


Figure 8. Defleksi dari efek bukaan dengan *steel plate* (Abed Shnait and Izzet 2024)

benda uji B-S20-T1.5 lebih besar dari pada benda uji lainnya, beban yang mampu ditahan terbesar pada benda uji R-Solid, sehingga kinerja lentur untuk benda uji R. Solid dan B-S20-T1.5 lebih baik dari pada benda uji lainnya.

Dari gambar 9 diatas dapat dilihat saat menggunakan *steel plate* sebagai perkuatan pada balok saat bertambahnya beban, tegangan pada balok menjadi tinggi. Tegangan yang tinggi ini melebihi

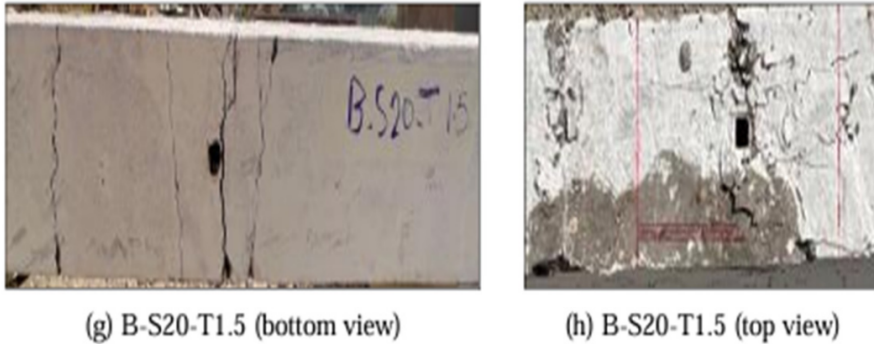


Figure 9. Retak yang terjadi pada benda uji (Abed Shnait and Izzet 2024)

kekuatan tarik material dan ikatan tulangan beton yang mengakibatkan terbentuknya retakan.

Dari penelitian Sudarsana, Sajana, and Suputra (2019) hasil penelitian dapat dilihat pada gambar 10 dan gambar 11 dibawah ini.

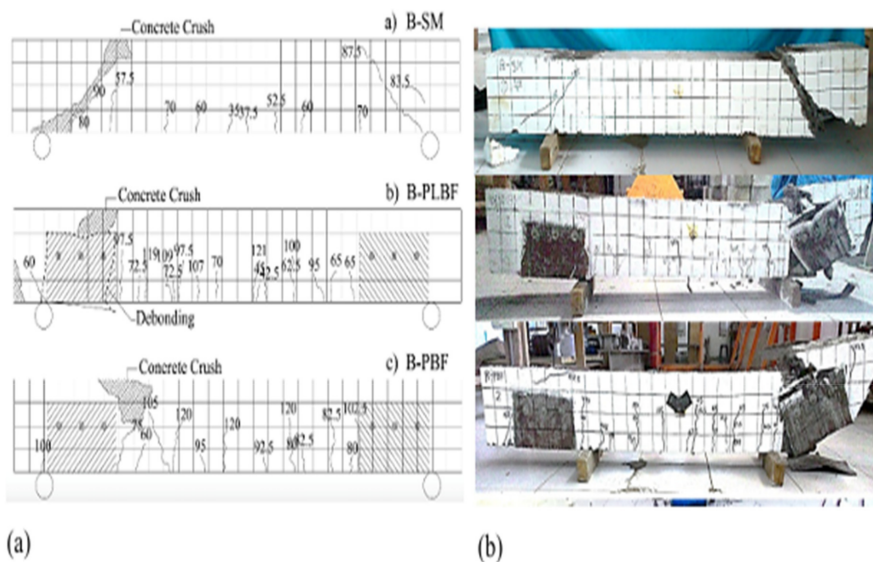


Figure 10. Pola retak dan kondisi balok setelah pengujian (a) contoh pola retak balok, (b) kondisi balok setelah pengujian (Sudarsana, Sajana, and Suputra 2019)

Pada gambar 10 *Steel plate* penuh di sepanjang zona geser meningkatkan kapasitas retak pertama balok (Pcr). Untuk retak pertama pada balok kontrol sebesar 31,67 kN, untuk balok B-PLBF sebesar 39,17 kN, dan untuk B-PBF sebesar 48,33 kN, sehingga balok B-PBF lebih besar dari kedua balok tersebut. Hal ini dapat disimpulkan bahwa penerapan *steel plate* penuh sebagai perkuatan geser dapat memperlambat terjadinya retak diagonal.

Pada gambar 11 untuk defleksi tengah dari semua benda uji, penggunaan *steel plate* dapat meningkatkan kekakuan pada balok. Pada balok dengan pelat berbentuk U menunjukkan kekakuan elastis yang lebih tinggi dibandingkan dengan balok dengan pelat berbentuk L karena adanya pelat pada bagian bawah. Tetapi Ketika terjadi retak, kekakuan plastis balok dengan kedua jenis kekakuan tersebut tidak jauh berbeda.

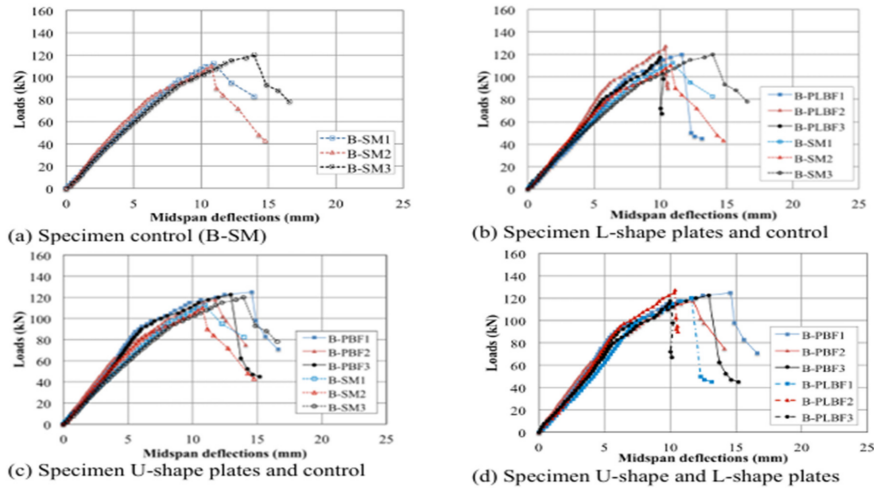


Figure 11. Kurva beban-defleksi semua benda uji (Sudarsana, Sajana, and Suputra 2019)

Dari penelitian Eklou et al. (2021) retakan terjadi di tengah bentang. Retak lentur pertama terjadi pada beban 40 – 60 kN pada semua balok. Ketika beban bertambah retakan lentur vertikal menyebar secara horizontal dari bentang Tengah ke bentang geser. Pada beban 100 – 120 kN, retak lentur-geser miring mulai terbentuk. Dengan bertambahnya beban retakan diagonal muncul. Ketika beban bertambah, lebih banyak retakan yang muncul dan retak diagonal memasuki zona tekan dan mengalami kegagalan geser. Gambar pola retakan pada balok dapat dilihat pada Gambar 12 dibawah ini.

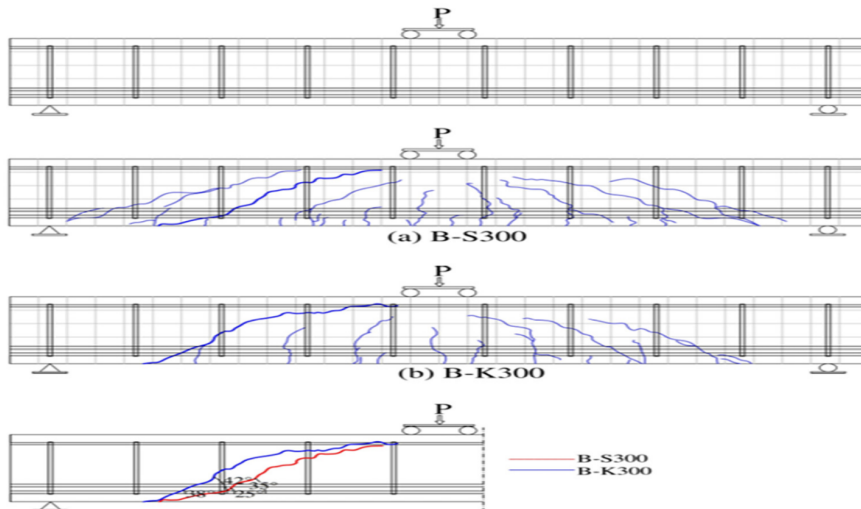


Figure 12. Pola retak pada pengujian balok (Eklou et al. 2021)

5. Kesimpulan

Dari beberapa review penelitian mengenai perkuatan *steel plate* pada balok beton dapat disimpulkan bahwa:

- Dengan menambahkan *steel plate* mampu meningkatkan kinerja lentur lebih baik, dan juga membuat tegangan pada balok menjadi tinggi dan melebihi dari kekuatan tariknya sehingga menimbulkan retak pada balok.
- Penggunaan *steel plate U-Shape* lebih baik dibandingkan dengan menggunakan L-Shape dikarenakan adanya plat yang menutup bagian bawah balok. Akan tetapi akibat retak tidak jauh berbeda.
- Pada penggunaan *steel plate* sebagai pengganti tulangan geser mengalami retak saat pertambahan beban sampai mengalami kegagalan geser.

References

- Abed Shnait, Masharq, and Amer F. Izzet. 2024. Flexural behavior of reinforced concrete beams with steel-plate reinforced vertical opening. *Civil Engineering Journal* 10, no. 9 (September): 2820–2838.
- Alasadi, Shatha, Zainah Ibrahim, Payam Shafigh, Ahad Javanmardi, and Karim Nouri. 2020. An experimental and numerical study on the flexural performance of over-reinforced concrete beam strengthening with bolted-compression steel plates: part ii. *Applied Sciences* 10 (1). ISSN: 2076-3417. <https://doi.org/10.3390/app10010094>.
- Eklou, Remir J, Muhammad B Yani, Halwan A Saifullah, Senor Sangadji, and Stefanus A Kristiawan. 2021. Experimental study: shear behaviour of reinforced concrete beams using steel plate strips as shear reinforcement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1144, no. 1 (May): 012040. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1144/1/012040>.
- Kisala, Dawid. 2016. A finite element analysis of steel plate–concrete composite beams including the influence of stiffness of the connectors on deflection. *Czasopismo Techniczne* 2016 (Budownictwo Zeszyt 2–B 2016): 69–80. ISSN: 0011-4561. <https://doi.org/10.4467/2353737XCT.16.159.5770>.
- Napoli, Annalisa, Enzo Martinelli, and Maria Rosaria Pecce. 2024. Rc beams externally strengthened by steel plates: experimental database and preliminary analysis. SMAR 2024 – 7th International Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures, *Procedia Structural Integrity* 64:975–982. ISSN: 2452-3216. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.09.381>.
- 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.
- Pangestuti, Endah Kanti, Wage Dwi Fitriyand, Fajar Arya Ramadhan, and Mohamed Nor Azhari Azman. 2023. Analysis of the addition of steel plates reviewed to the compressive strength capacity of the t-beam. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan* 25 (1): 27–33. ISSN: 2503-1899. <https://doi.org/10.15294/jtsp.v25i1.42863>.
- Sudarsana, I Ketut, I Putu Chandra Sajana, and I Gusti Ngurah Oka Suputra. 2019. Applications of bolted steel plates to shear strengthening of rc beams. In *Matec web of conferences*, 276:01002. EDP Sciences.
- Tawfic, Yasser, Abdel-Nasser A.Soltan, and Amr B. Saddek. 2021. Characteristics of steel plate-reinforced concrete composite beams subjected to flexural stresses. *Journal of Advanced Engineering Trends* 41 (2): 41–53. ISSN: 2682-2091. <https://doi.org/10.21608/jaet.2021.49518.1070>.
- Yazal, Hussain Ali, and Hussam Ali Mohammed. 2023. Experimental study to use steel plate bonding for rehabilitation hollow core slabs and improve its behavior. *KZYJC* 38 (8): 2387–2396. ISSN: 1001-0920.