

ARTICLE

Pemodelan Elemen Hingga Terhadap Pembebanan Geser Pada Balok Beton Bertulang Tanpa Sengkang yang Diperkuat dengan Metode Deep Embedment

Ridho Ardiansyah, Enno Yuniarto,* and Ridwan

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12.5, Pekanbaru 28293

*Corresponding author. Email: enno.yuniarto@eng.unri.ac.id

(Received 5 April 2023; revised 20 April 2023; accepted 26 April 2023; first published online 8 Mei 2023)

Abstract

Beams are a rigid part of the structure of a building. This beam is specifically designed to be able to withstand and transfer loads to column. Beams without shear reinforcement will experience changes in behavior both in terms of strength and failure patterns. The shear capacity of existing reinforced concrete structures is often unable to meet existing requirements. This decrease in strength can be caused by increased load, strong shear that is inadequate in initial design and material damage due to natural factors. Many methods that have been done are by means of external bonded (EB) method and near-surface mounted (NSM) method. However, shear resistance using the EB and NSM methods is prone to structural failures due to the magnification of this method only to contain an epoxy attachment and its blanket. To overcome this problem the resistance method using deep embedment (DE) method have been proposed to reinforcement the shear capacity of existing reinforced concrete structures. The purpose of this study was to analyze the shear behavior of reinforced concrete beams without shear reinforcement strengthened by the DE method through finite element modeling. In this research, the existing reinforced concrete structures put up the reinforcement by implant three kinds of steel carcass with 200 mm each gaps spread out shear beam. The maximum load result obtained from finite element analysis on reinforced concrete beams reinforced by the DE method was 29.09 kN. While the maximum deflection results obtained in finite element analysis was 10.1 mm. The failure model that occurs in the beam which is strengthened from the results of finite element analysis is the shear collapse.

Keywords: shear reinforcement, deep embedment method, finite element model, shear capacity, beam without shear reinforcement

1. Pendahuluan

Beton sebagai bahan utama yang sering digunakan dalam bidang konstruksi, memiliki peranan penting dalam terbentuknya struktur bangunan. Beton bertulang adalah material komposit penyusun elemen struktur gabungan antara beton dengan tulangan baja yang saling bekerja sama memikul gaya-gaya yang bekerja internal diakibatkan oleh beban eksternal (Didipu 2013).

Pada balok beton bertulang yang banyak dipakai di struktur jembatan maupun bangunan gedung, didapati terjadinya penurunan kekuatan dari balok beton, baik kekuatan lentur maupun geser

sehingga perlu adanya metode untuk mengatasinya. Penurunan kualitas struktur balok dapat terjadi akibat dari peningkatan beban, ketentuan geser yang tidak memadai dalam desain awal dan kerusakan material akibat faktor alam (Valerio, Ibell, and Darby 2009).

Dalam mengatasi permasalahan kapasitas geser dari balok beton bertulang tersebut digunakan metode Externally Bonded (EB) dan Near-Surface Mounted (NSM) yang telah banyak dipakai untuk memperkuat kapasitas geser pada balok beton bertulang. Perkuatan geser dengan metode EB adalah perkuatan dengan menempelkan pelat baja atau lembaran fiber reinforced polymer (FRP) ke permukaan beton. Sedangkan perkuatan geser dengan metode NSM adalah perkuatan dengan menambahkan tulangan atau lembaran FRP ke dalam alur yang sudah disiapkan pada selimut beton (Chaallal et al. 2011).

Perkuatan geser menggunakan metode EB dan NSM ini rentan terhadap kegagalan struktur karena perkuatan metode ini hanya mengandalkan lekatan epoksi dan selimut betonnya, sehingga mengakibatkan terlepasnya material FRP dari permukaan beton. Untuk mengatasi masalah ini, metode perkuatan dengan metode Deep Embedment (DE) diusulkan untuk perkuatan geser pada balok beton bertulang (Chaallal et al. 2011). Metode Deep Embedment (DE), yaitu perkuatan geser pada balok beton bertulang dengan cara menambahkan tulangan geser tambahan pada penampang beton.

Seiring dengan majunya perkembangan teknologi komputer baik dalam hardware maupun software yang tersedia, studi numerik menjadi salah satu cara untuk mendapatkan hasil maupun informasi yang tidak didapatkan dari pengujian eksperimental. Maka penelitian ini akan membahas tentang pengaruh dari perkuatan balok beton bertulang tanpa sengkang yang diperkuat dengan metode deep embedment melalui pemodelan elemen hingga.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Perilaku Geser Balok Beton Bertulang Tanpa Sengkang

Perilaku geser pada balok beton bertulang tanpa tulangan geser setelah terbentuknya retak miring, transfer dari geser merupakan kombinasi dari berbagai mekanisme sebagai berikut : perlawanan geser daerah tekan dari beton yang belum retak, gaya ikat (Interlock) antara agregat atau transfer geser antara permukaan, aksi pasak (Dowel Action) sebagai perlawanan dari penulangan longitudinal terhadap gaya transversal, dan aksi pelengkung (arch action) pada balok yang relatif tinggi (Buarlele, Kusuma, and Tanijaya 2020).

Keruntuhan geser terjadi secara tiba-tiba karena keruntuhan geser bersifat getas (Brittle). Untuk memberikan gambaran yang cukup jelas tentang bekerjanya gaya geser pada balok, diambil sebuah elemen kecil dari beton yang berada di dekat ujung balok, kemudian elemen tersebut diperbesar sehingga dapat di gambarkan gaya geser disekitar elemen beton seperti Gambar 1 dibawah.

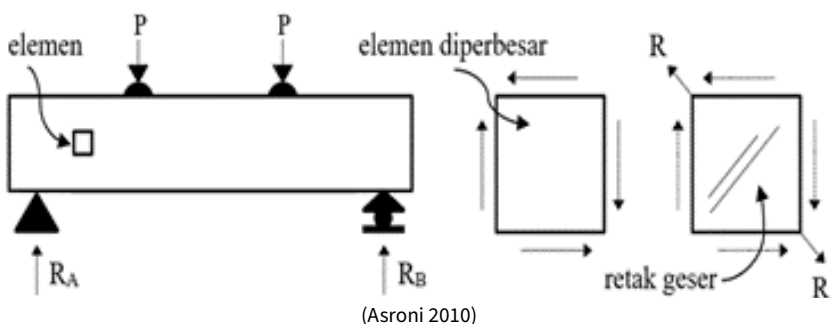


Figure 1. Retak Balok Akibat Gaya Geser (a) Elemen Pada Balok; (b) Gaya Geser di Sekitar Elemen; (c) Resultan R dan Retak Geser

Pada Gambar.1.a, akibat berat sendiri dan beban-beban di atas balok, maka pada tumpuan kiri maupun kanan timbul reaksi (RA dan RB) yang arahnya ke atas, sehingga pada tumpuan kiri terjadi gaya geser sebesar RA ke atas. Gaya lintang RA ini berakibat pada elemen beton (yang diperbesar) seperti terlihat pada Gambar 1.b. Arah reaksi RA ke atas, sehingga pada permukaan bidang elemen sebelah kiri terjadi gaya geser dengan arah ke atas pula. Keseimbangan gaya vertikal pada elemen beton terjadi karena elemen beton berada pada keadaan stabil, sehingga pada permukaan bidang elemen sebelah kanan timbul gaya geser ke bawah yang mana kedua gaya geser pada kedua permukaan bidang (bidang kiri dan kanan) ini besarnya sama. Pada elemen beton timbul momen yang arahnya sesuai dengan arah putaran jarum jam yang diakibatkan gaya geser ke atas pada permukaan bidang kiri, dan gaya geser ke bawah pada permukaan bidang kanan. Karena elemen beton berada pada keadaan stabil, berarti terjadi keseimbangan momen pada elemen beton, sehingga momen yang ada harus dilawan oleh momen lain yang besarnya sama tetapi arahnya berkebalikan, yaitu berlawanan dengan arah putaran jarum jam. Momen yang arahnya berlawanan dengan arah putaran jarum jam dapat terjadi, jika pada permukaan bidang elemen sebelah atas ada gaya geser dengan arah ke kiri, dan pada permukaan bidang elemen sebelah bawah ada gaya geser dengan arah ke kanan. Kedua gaya geser terakhir ini juga memiliki besar yang sama.

Gaya geser ke atas pada permukaan bidang kiri dan gaya geser ke kiri pada permukaan bidang atas membentuk resultan R yang arahnya miring ke kiri-atas, sedangkan gaya geser ke bawah pada permukaan bidang kanan dan gaya geser ke kanan pada permukaan bidang bawah juga membentuk resultan R yang arahnya miring ke kanan-bawah. Kedua resultan yang terjadi dari item 1 dan 2 tersebut sama besarnya, tetapi berlawanan arah dan saling tarik-menarik. Jika elemen beton tidak mampu menahan gaya tarik dari kedua resultan R, maka elemen beton akan retak dengan arah miring, membentuk sudut 45° seperti terlihat pada Gambar 1.c.

2.2 Perkuatan Geser Balok Beton Bertulang Tanpa Tulangan Geser dengan Metode Deep Embedment (DE)

Metode perkuatan external bonded (EB) dan metode near-surface mounted (NSM) rentan terhadap kegagalan struktur karena perkuatan metode ini hanya mengandalkan lekatan atau lem epoksi pada selimut betonnya, sehingga akan mudah lepasnya material FRP dari permukaan beton. Untuk mengatasi masalah ini, metode perkuatan dengan metode deep embedment (DE) diusulkan untuk perkuatan geser pada balok beton bertulang (Mofdi et al. 2012).

Perkuatan geser dengan metode deep embedment (DE) adalah metode perkuatan dengan tulangan baja tertanam di dalam lubang balok yang telah disiapkan secara vertikal untuk memperkuat kapasitas geser balok beton bertulang. Teknik perkuatan metode DE memberikan efektifitas penguatan yang lebih tinggi karena teknik ini mengandalkan transfer langsung tegangan dari tulangan baja ke inti beton, tidak seperti teknik perkuatan dengan metode EB dan NSM. Selain itu, persiapan permukaan beton dan perlindungan terhadap api dan vandalisme tidak diperlukan (Rahman et al. 2018).

Teknik perkuatan metode DE ini sudah pernah dilakukan pada sambungan balok kolom eksterior yang diberi beban siklik (Rahman et al. 2018). Tujuh spesimen sambungan balok kolom eksterior dibuat. Satu spesimen sambung balok kolom eksterior dibuat sesuai aturan ACI 352R-02 sementara enam spesimen lainnya dirancang dengan aturan pra-1970 untuk mewakili kondisi struktur yang direncanakan dengan perkuatan lama. Semua spesimen memiliki dimensi dan konfigurasi penulangan yang sama. Untuk mempelajari pengaruh jenis tulangan, tulangan baja dan Carbon Fiber Reinforced Polymere (CFRP) digunakan sebagai tulangan geser tambahan. Jumlah tulangan geser yang ditambahkan juga bervariasi untuk mempelajari pengaruh rasio tulangan tambahan.

2.3 Perangkat Lunak Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan metode yang ampuh untuk menganalisis berbagai permasalahan di dalam dunia teknik secara numerik dalam menentukan deformasi dan analisis tegangan yang terdapat

pada struktur bangunan. Dengan perkembangan teknologi komputer, berbagai masalah kompleks saat ini dapat dimodelkan dengan mudah dan karenanya beberapa konfigurasi alternatif dapat diuji di komputer. Beberapa aplikasi berbasis pemodelan elemen hingga tersedia untuk memudahkan proses membangun dan menyelesaikan sebuah elemen model seperti Vector2, DIANA dan ABAQUS (Rahman *et al.* 2018).

Beton bertulang tanpa tulangan geser adalah salah satu bagian elemen yang rumit untuk dimodelkan pada elemen hingga. Model material yang tepat dalam pemodelan elemen hingga harus dapat mewakili perilaku elastis dan plastis beton dalam kompresi dan tegangan. Perilaku kompresif yang lengkap harus mencakup perilaku elastis dan non-elastis dari beton termasuk regangan tarik. Simulasi perilaku yang tepat di bawah tekanan harus mencakup tegangan, pengerasan tegangan dan efek ikatan lokal pada elemen beton bertulang. Oleh karena itu, pengembangan model elemen hingga mungkin perlu pengujian bahan intensif untuk dimasukkan ke dalam model material dalam setiap paket elemen hingga yang tersedia (Sinaei 2012).

2.4 Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang Menurut SNI 03-2847-2019

Untuk menentukan kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton diantara ke empat persamaan ini, dipilih hasil dari V_c yang terkecil diantara empat persamaan diatas. Adapun persamaan-persamaan yang digunakan untuk penulangan geser menurut SNI 03-2847-2019 untuk komponen nonprategang tanpa gaya aksial, adalah:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (1)$$

atau

$$\phi (V_c + V_s) \geq V_u \quad (2)$$

dengan V_u adalah gaya geser terfaktor (kN), V_c adalah kuat geser yang disumbangkan oleh beton (kN), V_s adalah kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan (kN), ϕ faktor reduksi dan V_c adalah kuat geser nominal (kN).

Kemampuan beton untuk menahan gaya geser menurut SNI 03 - 2847 - 2019, adalah nilai terkecil dari persamaan (3) – (6) berikut ini :

$$V_{c(1)} = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \quad (3)$$

$$V_{c(2)} = \left(0,16 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} + 17\rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) \times b_w \times d \quad (4)$$

$$V_{c(3)} = \left(0,16 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} + 17\rho_w \right) \times b_w \times d \quad (5)$$

$$V_{c(4)} = 0,29 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \quad (6)$$

dengan λ adalah faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton ringan, semuanya relatif terhadap beton normal dengan kekuatan tekan yang sama, f'_c adalah kekuatan tekan beton yang disyaratkan (MPa), b_w adalah lebar balok, d jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal (mm), M_u adalah Momen terfaktor pada penampang (Nmm), dan ρ_w adalah rasio tulangan tarik longitudinal nonprategang.

Untuk gaya geser yang disumbangkan oleh sengkang vertikal V_s SNI 03-2847-2019 menganggap retak diagonal membentuk sudut 45° terhadap sumbu panjang balok, V_s dapat dihitung dengan persamaan :

$$V_s = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{s} \quad (7)$$

dengan V_s adalah kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan (kN), s adalah Jarak pusat ke batang tulangan geser ke arah sejajar tulangan pokok penampang (mm), f_{yt} adalah Kuat leleh tulangan geser (MPa), dan d adalah tinggi efektif balok (mm).

3. Metodologi Penelitian

3.1 Deskripsi Benda Uji

Benda uji yang dianalisis pada penelitian ini ialah balok berukuran 150 mm x 250 mm dan panjang total 2000 mm. Tulangan yang digunakan pada benda uji ini ada dua jenis yaitu BJTP12 dan BJTP6. Dua tulangan baja polos diameter 12 mm digunakan untuk tulangan lentur bawah, sedangkan dua tulangan baja polos diameter 6 mm digunakan untuk tulangan lentur atas. Benda uji balok ini tanpa tulangan sengkang sama sekali sebagai desain kegagalan geser pada benda uji dan juga penggunaan tulangan diameter 6 mm pada tulangan atas dan tulangan diameter 12 mm pada tulangan bawah untuk skenario gagal geser pada benda uji. Untuk menghindari kerusakan awal akibat konsentrasi tegangan pada tumpuan, maka diberikan tulangan geser diameter 12 mm. Kuat tekan beton rencana pada penelitian ini ialah 18 MPa.

Benda uji ini diperkuat dengan menggunakan metode Deep Embedment. Enam buah tulangan polos diameter 12 mm ditambahkan di daerah bentang geser. Jarak memanjang tulangan EB ke 1,2 dan ke 3 dipasang sejajar pada jarak 200 mm dari tumpuan. Kemudian tulangan EB ke 4,5 dan ke 6 dipasang sejajar pada jarak 200 mm. Posisi pemasangan tulangan embedded bars, dapat dilihat pada Gambar 3.

3.2 Pemodelan Balok dengan Perangkat Lunak Elemen Hingga

Balok beton bertulang dimodelkan dengan menggunakan aplikasi berbasis elemen hingga yaitu ABAQUS CAE 6.11. Pada tahap ini dilakukan pemodelan balok dan input propertis material beton maupun baja. Beton dimodelkan menggunakan elemen solid yang memiliki 8 titik nodal dengan tipe C3D8R. Sedangkan tulangan baja dimodelkan menggunakan elemen 1D dengan 2 titik nodal dengan tipe T3D2 (Ridwan et al. 2019).

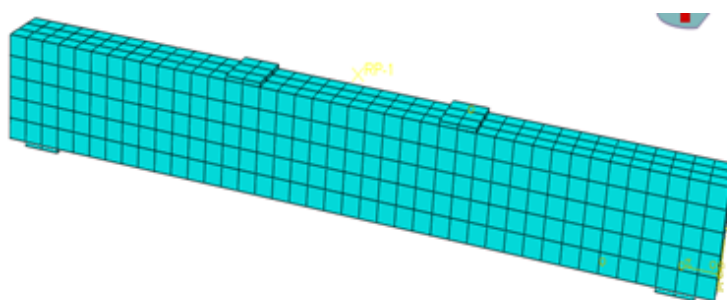


Figure 2. Pemodelan Balok Beton Bertulang Tanpa Tulangan Geser yang Diperkuat

Model material beton yang digunakan yaitu model Concrete Damage Plasticity (CDP). Model material CDP ini menggabungkan plastisitas kerusakan isotropik dengan konsep elastisitas pengerasan. Evolusi kerusakan beton dalam model bahan ini ditelusuri oleh regangan plastik serta tarik dan tekan yang masing-masing terkait dengan tegangan dan kegagalan tekan (Ridwan et al. 2019).

Kriteria hasil Von Mises dalam hubungannya dengan respons pengerasan isotropik digunakan untuk menggambarkan respons material baja tulangan di luar titik lelehnya. Hingga menghasilkan,

baja asumsikan elastis linier, dengan modulus Young sama dengan 200 GPa dan rasio Poisson sama dengan 0,3. Sifat-sifat penguat, yaitu tegangan leleh, tegangan ultimit dan modulus elastisitas, ditentukan dari data tegangan-regangan pengujian tarik dan kurva tegangan-regangan teknik pengerasan tegangan-regangan-elastis- plastik trilinear (Ridwan *et al.* 2019).

Pemodelan elemen hingga untuk menganalisis kekuatan geser yang terjadi dari balok beton bertulang tanpa sengkang yang diperkuat dengan metode deep embedment dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.

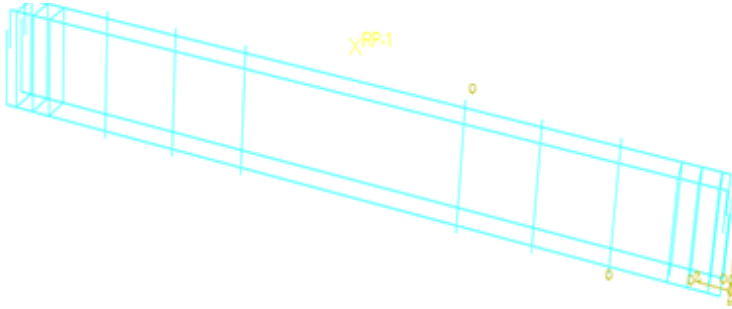


Figure 3. Pemodelan Rangka Balok Beton Bertulang Tanpa Tulangan Geser yang Diperkuat

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Analisis Balok Beton Bertulang Tanpa Sengkang yang Diperkuat Menggunakan Elemen Hingga

Gambar 4 menunjukkan nilai beban maksimum yang dicapai dari analisis elemen hingga yang dilakukan sebesar 29,09 kN dengan lendutan yang terjadi sebesar 8,37 mm. Balok mengalami keruntuhan pada saat balok telah mencapai beban ultimit yang ditandai dengan berhentinya perhitungan analisis elemen hingga. Kondisi akhir dari analisis elemen hingga diperoleh beban sebesar 28,90 kN dan lendutan sebesar 10,1 mm..

4.2 Hasil Pola Retak Analisis Elemen Hingga

Model material beton pada aplikasi elemen hingga untuk balok beton bertulang yang diperkuat dengan metode DE adalah concrete damage plasticity (CDP). Pola retak dari pemodelan CDP ini dapat divisualisasikan dengan memasukkan nilai regangan tarik beton plastis (PE) pada arah sumbu utamanya (principal direction) seperti yang terlihat pada Gambar 5. Hasil dari analisis elemen hingga diperoleh pola retak pertama pada beban 8,347 kN dan lendutan sebesar 0,45 mm. Pemodelan yang dilakukan dengan elemen hingga dapat dilihat bahwa keretakan yang terjadi diawali dengan retak vertikal lentur pada tengah bentang kemudian semakin bertambahnya beban terjadi pola retak diagonal dimulai dari tumpuan menuju ke arah titik tekan balok sehingga terjadi keruntuhan geser pada pemodelan elemen hingga balok beton bertulang tanpa tulangan sengkang yang diperkuat dengan metode DE melalui aplikasi elemen hingga ABAQUS.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari hasil analisis mengenai perilaku balok beton bertulang yang diperkuat dengan menggunakan metode deep embedment (DE) pada elemen hingga dengan software ABAQUS sebagai berikut: Beban dan Lendutan maksimum yang terjadi pada balok yang diperkuat dengan metode deep embedment adalah sebesar 29,09 kN dan 10,1 mm. Pola retak analisis elemen hingga

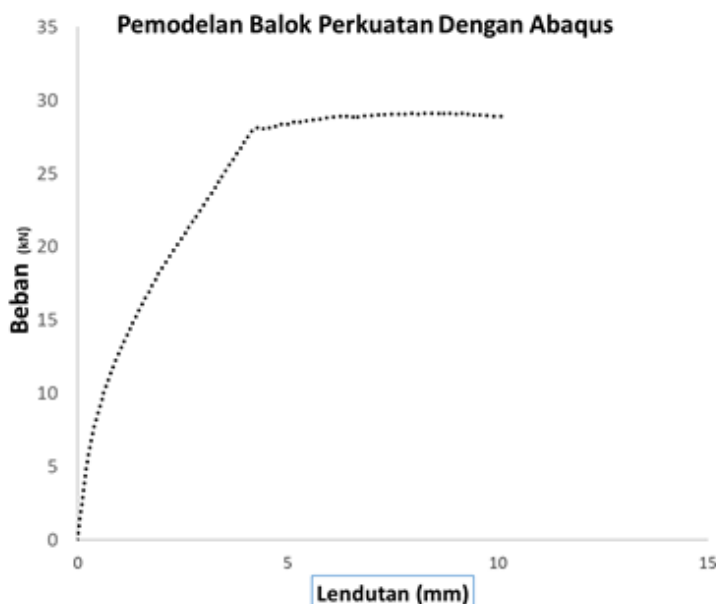


Figure 4. Kurva Hubungan Beban dan Lendutan Balok Tanpa Sengkan yang Diperkuat

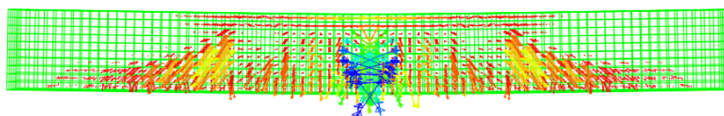


Figure 5. Pola Retak Balok Beton Bertulang yang Diperkuat dengan Software ABAQUS (Primary Variable, DAMAGE)

pertama terjadi di tengah bentang yaitu retak vertikal kemudian muncul retak diagonal pada tumpuan mengarah ke titik tekan beton sebagai pertanda kegagalan geser dan mengalami keruntuhan geser..

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diharapkan dapat dilanjutkan oleh peneliti lain dengan memperhatikan beberapa saran sebagai berikut: Diperlukan analisis lebih lanjut mengenai perkuatan geser balok beton bertulang tanpa sengkang dengan metode deep embedment.

Penggunaan pemodelan elemen hingga sangat membantu dalam menganalisis elemen-elemen suatu konstruksi karena penggunaannya yang relatif mudah dan dapat memecahkan masalah dalam analisis linier relatif sederhana maupun sulit dengan hasil yang cukup akurat.

References

- Asroni, Ali. 2010. *Balok dan pelat beton bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Buarlele, Luciana, Benny Kusuma, and Jonie Tanijaya. 2020. Prediksi kekuatan geser beton pada balok beton bertulang tanpa tulangan geser. *Jurnal Teknik Sipil* 16 (1): 374–383. <https://doi.org/10.24002/jts.v16i1.4212>.
- Chaallal, O., A. Mofidi, B. Benmokrane, and K. Neale. 2011. Embedded through-section frp rod method for shear strengthening of rc beams: performance and comparison with existing techniques. *Journal of Composites for Construction* 15 (3): 374–383. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000174](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000174).
- Didipu, Nur Layla. 2013. Pengaruh lapisan hybrid serat karbon dan serat gelas pada kapasitas lentur balok beton bertulang. Skripsi, Universitas Hasanuddin.

- Mofidi, Amir, Omar Chaallal, Brahim Benmokrane, and Kanneth W Neale. 2012. Performance and comparison of end-anchorage systems for rc beams strengthened in shear with u-wrap frp. In *Proceedings of the 6th international conference on frp in civil engineering (cice2012)*. International Institute for FRP in Construction.
- Rahman, Ridwan, Samir Dirar, Yaser Jemaa, Marios Theofanous, and Mohammed Elshafie. 2018. Experimental behavior and design of exterior reinforced concrete beam-column joints strengthened with embedded bars. *Journal of Composites for Construction* 22 (6): 04018047. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000883](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000883).
- Ridwan, R, Alfian Kamaldi, Yaser Jemaa, Muhammad Rizki, Wan Muhammad Nurhud, and Alex Kurniawandy. 2019. Pemodelan balok beton bertulang yang diperkuat dengan metode deep embedment menggunakan software berbasis elemen hingg. In *Prosiding konferensi nasional teknik sipil ke-13 [konteks-13] : inovasi sains dan teknologi dalam penerapan infrastruktur berbasis mitigasi bencana dan berwawasan lingkungan*, edited by Benazir et al. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Unsyiah.
- Sinaei, Hamid. 2012. Evaluation of reinforced concrete beam behaviour using finite element analysis by abaqus. *Scientific Research and Essays* 7 (21). <https://doi.org/10.5897/sre11.1393>.
- Valerio, P., T. J. Ibell, and A. P. Darby. 2009. Deep embedment of frp for concrete shear strengthening. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings* 162 (5): 311–321. <https://doi.org/10.1680/stbu.2009.162.5.311>.