



PENAMBAHAN VARIASI JARAK BAJA TIPE HOLLOW LINGKARAN SEBAGAI PERKUATAN TERHADAP KAPASITAS LENTUR PADA BALOK HOLLOW BETON BERTULANG

Dzaki Reza Faturrochman¹, Prijono Bagus Susanto² dan Mohammad Sulton³

¹Universitas Negeri Malang, dzaki.reza.1805236@students.um.ac.id

²Universitas Negeri Malang, prijono.bagus.ft@um.ac.id

³Universitas Negeri Malang, mohammad.sulton.ft@um.ac.id

Abstrak

Penambahan baja hollow lingkaran dengan variasi jarak pada balok beton bertulang mampu meningkatkan capaian beban dan kekakuan serta dapat menurunkan defleksi. Keuntungan lainnya berupa pengurangan berat dari elemen struktur sehingga dapat mengurangi penggunaan material pencampuran beton. Baja hollow diletakkan di daerah tarik dengan harapan dapat meningkatkan daktilitas yang dihasilkan dibandingkan dengan balok beton konvensional. Sehingga mampu diaplikasikan di lapangan dengan baik dan memperhatikan faktor keamanan pada elemen struktur bangunan.

Penelitian ini bertujuan: (1) Menganalisis hubungan beban-defleksi yang diperoleh dari uji lentur pada balok hollow lingkaran beton bertulang dengan variasi jarak baja hollow yang dibandingkan dengan balok beton konvensional.; (2) Menganalisis nilai daktilitas balok baja hollow lingkaran dan balok beton konvensional.; (3) Menganalisis wujud pola retak yang terbentuk dari hasil pengujian lentur pada setiap benda uji balok hollow beton bertulang dengan variasi jarak baja hollow yang dibandingkan dengan balok beton konvensional. Perancangan spesimen terdiri dari balok konvensional, balok baja hollow variasi 1 dan balok baja hollow variasi 2 yang masing-masing berjumlah 2 (dua) buah dengan menggunakan mutu beton 25 Mpa. Pengujian dilakukan ketika spesimen balok berumur 28 hari.

Hasil penelitian balok baja hollow diamati dan dikomparasikan terhadap balok konvensional menunjukkan: (1) Nilai beban pada saat retak pertama, tulangan leleh hingga beban mencapai puncak pada balok memiliki tren yang fluktuatif, hanya pada BHL-1 dan BHL-2 yang pada saat retak pertama dan tulangan leleh memiliki tren yang seragam. Persentase kenaikan beban puncak terbesar pada BHL-1 terhadap BS dengan kenaikan 49,80% dan selisih beban 19,92 kN. Sedangkan persentase tinjauan defleksi BHL-1 terhadap BS mengalami penurunan sebesar 41,80% dengan selisih defleksi 23,12 mm; (2) Nilai daktilitas pada balok BS dan balok hollow lingkaran (BHL) berkisar antara 1,5 sampai 5,0, sehingga dapat dikatakan memiliki elemen struktur dengan karakteristik daktil parsial dan layak untuk desain pada daerah yang terjadi rawan gempa.; (3) Pola retak yang terjadi pada balok BS mengalami gagal lentur, BHL-1 dan BHL-2 mengalami gagal lentur-geser.

Kata kunci: Balok Beton Bertulang, Balok Baja Hollow, Beban Maksimum, Defleksi, Daktilitas, Pola Retak.

1. PENDAHULUAN

Beton bertulang merupakan peranan yang sangat penting pada struktur bangunan. Pembuatan beton yang berawal dari kombinasi batu, semen serta pasir menyebabkan dampak pada lingkungan. Dari tahun ke tahun pembangunan semakin gencar dilakukan dan pembuatan beton semakin banyak permintaannya. Akibat dari hal tersebut dapat menimbulkan kekhawatiran akan rusaknya lingkungan sekitar karena kegiatan dari eksplorasi yang berlebihan dan tidak terkendali dengan baik. Eksplorasi pasir hingga kerikil berlebihan dapat menimbulkan abrasi di daerah pesisir dan lorong akibat dari pengerukan yang tak

terkendali (Pratama et al., 2016). Selain itu produksi semen juga menyumbang antropogenik CO₂ pada atmosfer tiap tahunnya (Crow, 2008), serta emisi CO₂ global berasal dari industri semen (Balagun, 2016) telah mengakibatkan kerusakan lingkungan yang berarti.

Menurut (Ujiyanto, 2006) untuk mengurangi penggunaan material beton maka membuat balok beton dengan lubang karena memiliki berat yang lebih ringan daripada balok tanpa lubang. Balok dengan lubang memanjang juga akan mengakibatkan pengurangan berat sendiri balok beton. Akibatnya, ukuran yang dibutuhkan dari komponen struktur pendukung lainnya seperti kolom dan pondasi yang menopang balok-balok ini akan berkurang dan mengarah pada penghematan bahan konstruksi. Terutama dalam perencanaan anggaran dan biaya. Maka untuk mengefisiensikan berat struktur bangunan dilakukan dengan mengurangi volume beton pada beberapa struktur. Sehingga berkurangnya berat struktur bangunan tersebut. Akan tetapi, dengan mengurangi volume beton juga mengakibatkan berkurangnya kekuatan struktur tersebut (Arun, 2015).

Balok hollow terkait dengan perubahan yang disebabkan oleh kekosongan dalam konfigurasi penampang yang mengurangi momen inersia pada balok dan mempengaruhi kekuatan struktur tersebut (Ngu, 2017). Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Mathew & Varghese (2016) kinerja yang lebih baik dicapai dengan penempatan hollow di sepanjang sumbu netral balok. Performa yang lebih baik ditunjukkan pada penelitian Ling et al., (2020) menggunakan Finite Element Method (FEM) dengan bantuan software ANSYS pada perancangan balok hollow dibandingkan dengan balok solid menunjukkan penempatan hollow relatif efektif ketika diameter hollow memanjang 1/3 kali lebar balok. Kemudian penempatan hollow di bawah sumbu netral dan di atas tulangan tarik karena mampu memperkecil defleksi. Penempatan hollow di bawah sumbu netral hanya menurunkan kekuatan ultimate sebesar 12,58% dan meningkatkan defleksi 1,44%, sedangkan penempatan hollow di atas tulangan tarik hanya menurunkan kekuatan ultimate sebesar 32,60%, dan meningkatkan defleksi 3,34%.

Kajian balok beton hollow telah banyak dilakukan penelitian terdahulu, namun masih terdapat gap yang terjadi dimana penelitian penggunaan hollow hanya meringankan berat dari struktur tersebut, tetapi tidak meningkatkan kapasitas dari struktur tersebut. Menggunakan baja hollow galvanis dapat menjadi alternatif pilihan untuk memperkuat kapasitas lentur serta dapat meringankan beban balok. Untuk melengkapi rangkaian penelitian serupa perlu adanya validasi melalui pendekatan yang berbasis eksperimental dan melakukan variasi jarak yang berbeda serta menggunakan bahan baja hollow sebagai pengganti pipa PVC sebagai perkuatan tambahan. Variasi jarak yang menggunakan penelitian Ling et al., (2020) karena memiliki performa terbaik dalam penempatan hollow pada balok.

Pentingnya penelitian penambahan baja hollow karena memiliki beberapa manfaat, yaitu meningkatkan kapasitas momen balok dikarenakan memiliki kuat tarik baja hollow yang kuat. Menurut SNI 0039-2013 karakteristik baja hollow yang dipilih menggunakan kuat tarik pipa baja karbon dengan lapisan seng, yaitu 320 s.d 420 N/mm². Kemudian baja hollow tersebut dapat meringankan beban balok secara keseluruhan karena beratnya hanya 1,90 kg/m. Baja hollow tersebut juga memiliki multifungsi, yaitu bisa sebagai saluran air, gas, instalasi listrik, dll.

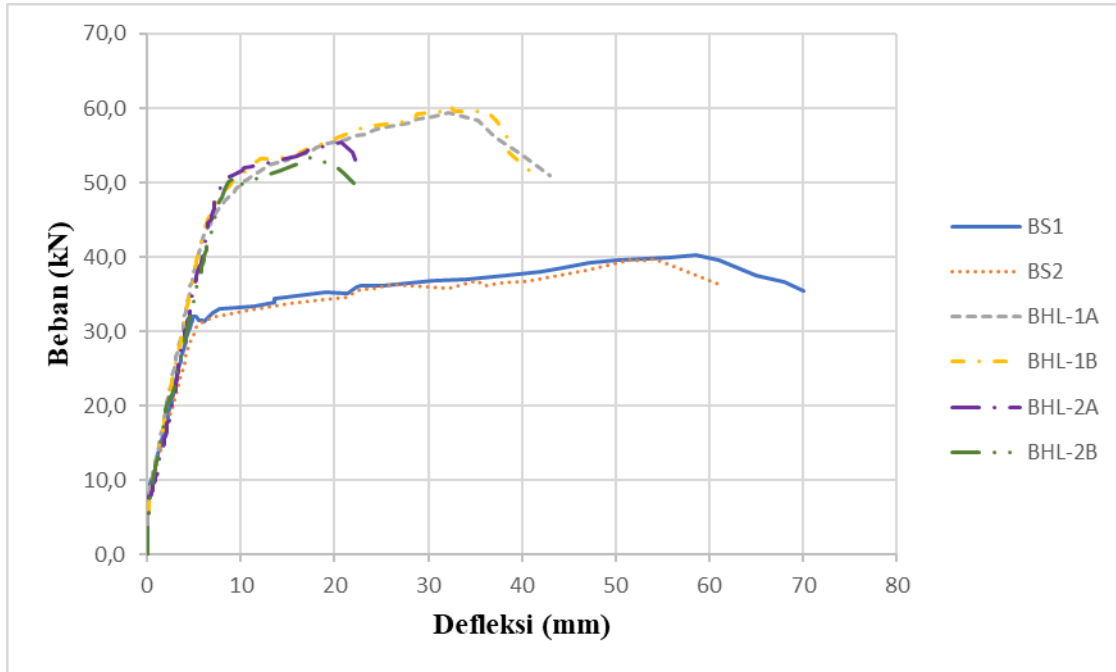
Desain penelitian ini adalah kajian eksperimental dengan benda uji balok hollow beton bertulang dimensi 130 x 190 x 1500 mm yang diuji pada umur 28 hari menggunakan metode four point bending dengan variasi jarak baja tipe hollow lingkaran dengan diameter 40 mm.

2. METODE

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode eksperimental. Prinsip variasi jarak pada penelitian ini menggunakan pendekatan dengan cara memvariasikan jarak baja hollow (d_n) dari serat atas balok. Penempatan penambahan baja hollow pada balok di bawah sumbu netral dan di atas tulangan tarik maka akan mempengaruhi struktur dari balok tersebut. Apabila balok telah dirancang secara baik maka akan terbentuk peningkatan kekuatan struktur dan pengurangan defleksi pada balok tersebut. Eksperimen ini direncanakan dengan membuat spesimen balok menggunakan mutu yang sama, yaitu 25 Mpa. Tulangan yang digunakan pada spesimen balok menggunakan rasio yang mendekati ρ_{min} dan ρ_{max} . Terdapat 3 spesimen balok, dan masing-masing berjumlah 2 balok, yaitu balok solid sebagai balok kontrolnya dan sebagai pembanding adalah balok hollow lingkaran 1 dan balok hollow lingkaran 2. Dimensi balok yang digunakan adalah 1500x130x190 mm. Pengujian kuat lentur pada penelitian ini menggunakan sistem *four point bending*. Hasil dari penelitian eksperimental ini diharapkan dapat memperoleh data mengenai hubungan beban – defleksi pada balok hollow akibat pengaruh penambahan dari baja hollow di bawah sumbu netral maupun di atas tulangan tarik. Metode analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis deskriptif kuantitatif. Analisis ini menggunakan angka dan kalimat dalam mendeskripsikan hasil dari data penelitian yang diperoleh.

3. HASIL

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, data beban diperoleh dari *data logger* dan defleksi dari *dial gauge*. Pengolahan data yang telah dilakukan didapatkan grafik hubungan beban-defleksi balok solid dan balok hollow lingkaran menggunakan 2 macam variasi jarak hollow. Terdapat 3 indikator, yaitu pada saat retak pertama, tulangan leleh, dan pada saat *ultimate*. Masing-masing dari spesimen di bandingkan. Data hasil beban dan defleksi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan Beban-Defleksi Balok Solid dan Balok Hollow Lingkaran

4. PEMBAHASAN

Berdasarkan Gambar 1 mengenai Hubungan Beban-Defleksi Balok Solid dan Balok Hollow Lingkaran menunjukkan bahwa seluruh balok dikenakan tiga fase respon terhadap peningkatan beban. Lendutan yang terjadi pada balok beton sesuai dengan beban tertentu, semakin tinggi beban, semakin besar lendutan. Ketika beban yang diberikan masih pada level yang rendah, kurva defleksi beban membentuk garis lurus, yang menunjukkan bahwa terjadi perilaku elastis. Selain itu, setelah munculnya retakan pada serat beton yang diregangkan, kurva menjadi lebih melandai. Ini berarti kekakuan lentur balok berkurang. Pada tingkat beban yang lebih tinggi, tulangan tarik akan mencapai batas elastisnya, secara signifikan dapat meningkatkan defleksi yang dihasilkan. Akibatnya, kurva beban-defleksi menjadi lebih landai dari sebelumnya. (Nawy, 2001) berpendapat bahwa pada dasarnya hubungan beban-defleksi balok beton bertulang dapat direalisasikan dalam bentuk tiga zona, yaitu taraf praretak, taraf pascaretak, dan taraf pasca-*serviceability*.

Dari Gambar 1, terlihat bahwa grafik beban-defleksi balok solid dan balok hollow lingkaran memiliki kemampuan memikul beban dan defleksi yang terjadi pada setiap kondisi berbeda-beda. Pada tahapan praretak BS, BHL-1 dan BHL-2 memiliki perilaku yang sama yaitu mengalami deformasi elastis. Capaian beban-defleksi pada tingkat beban yang sama, yaitu BHL-1 memiliki kekakuan yang unggul dibandingkan dengan BS dan BHL-2. Beban pada BHL-1 mencapai 19 kN dengan defleksi hanya 1,98 mm.

Setelah retak pertama terjadi maka tegangan akibat beban luar berangsur-angsur ditransfer ke tulangan tarik balok beton bertulang. Tahapan selanjutnya yaitu taraf pascaretak, yaitu pada tahap ini balok masih mengalami deformasi elastis menuju deformasi inelastis. Baja tulangan mulai luluh seiring pertambahan beban. Pada daerah ini grafik mulai landai dan baja tulangan sudah memasuki phase plastis. Balok kontrol spesimen BS lebih landai jika dibandingkan dengan grafik lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa balok beton bertulang BS memiliki kekakuan yang lebih kecil dibandingkan balok lainnya. Selanjutnya, balok beton bertulang dengan penambahan baja hollow pada serat tarik yakni BHL-1 memiliki grafik yang paling menemukik menandakan bahwa balok beton bertulang BHL-1 memiliki kekakuan terbesar dari keseluruhan balok.

Pada tahap terakhir adalah taraf pasca-*serviceability* atau kondisi ini disebut juga dengan kondisi puncak. Saat balok mencapai pembebanan maksimum, retak yang terjadi menjalar hingga serat tekan balok beton yang membuat keruntuhan pada balok beton bertulang. Pada tahap ini grafik ditandai dengan melandainya kenaikan pembebanan dan meningkatnya defleksi yang terjadi. Kasus yang terjadi pada BS grafik pada pembebanan mulai melandai dikarenakan kehilangan kekakuan akibat retak seiring akumulasi beban yang bekerja pada balok. Berbeda dengan BHL-1 dan BHL-2, yaitu grafik melandai pada defleksi lebih cepat seiring dengan penambahan beban sehingga balok tersebut lebih cepat runtuh dibandingkan dengan BS.

5. SIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian diperoleh hasil dan pembahasan mengenai “Penambahan Variasi Jarak Baja Tipe Hollow Lingkaran Sebagai Perkuatan Terhadap Kapasitas Lentur Pada Balok Hollow Beton Bertulang” maka dapat disimpulkan bahwa:

Penambahan baja hollow lingkaran memiliki pengaruh pencapaian beban dan defleksi yang berfluktuatif, mulai dari retak pertama, tulangan leleh hingga beban mencapai puncak. Namun apabila ditinjau pada BHL-1 dan BHL-2 saja maka pada saat retak pertama dan tulangan leleh memiliki tren yang seragam. Dari semua spesimen balok, persentase kenaikan beban puncak terbesar pada BHL-1 terhadap BS dengan kenaikan 49,80% dan selisih beban 19,92 kN. Sedangkan persentase tinjauan defleksi BHL-1 terhadap BS mengalami penurunan sebesar 41,80% dengan selisih defleksi 23,12 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan baja hollow lingkaran di bawah sumbu netral BHL-1 berkontribusi pada peningkatan terhadap kapasitas dan kekakuan pada balok.

DAFTAR RUJUKAN

- A. J. Alshimmeri, & H. N. Al-Maliki. (2014). Structural Behavior of Reinforced Concrete Hollow Beams under Partial Uniformly Distributed Load. *Journal of Engineering*, 20(7), 130-145.
- Al-Maliki, H. N. G., Al-Balhawi, A., Alshimmeri, A. J. H., & Zhang, B. (2021). Structural efficiency of hollow reinforced concrete beams subjected to partial uniformly distributed loading. *Buildings*, 11(9), 1-16. <https://doi.org/10.3390/buildings11090391>
- Andrean, S., Sumajouw, M. D. J., & Windah, R. S. (2015). Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Variasi Ratio Tulangan Tarik. *Jurnal Sipil Statik Maret*, 3(3), 175-182.
- Ardebili, M. A. H., & Mirzabozorg, H. (2010). Numerical simulation of reservoir fluctuation effects on the nonlinear dynamic response of concrete arch dams. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 69(August 2010), 427-438. <https://doi.org/10.2495/AFM100371>
- Arun, M. (2015). *Behavior and strength of reinforced concrete hollow beams*.

- Aulia, T. B., Afifuddin, M., & Zaki, M. (2018). Studi Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Mutu Tinggi Menggunakan Fly Ash Geopolimer dan Abu Cangkang Sawit sebagai Substitusi Semen. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil, September*, 18–19.
- BAB, I. (n.d.). *beton (Tri Mulyono, 2004). Perkembangan produksi beton mengalami banyak modifikasi untuk mengupayakan suatu beton yang kuat namun tetap berharga murah. Banyak penelitian terus dilakukan untuk mengupayakan beton yang kuat dengan harga murah.*
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 20.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*, 8, 695.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). Sni 1729:2020. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, 8, 9–16.
- Balaji, G., & Vetturayasudharsanan, R. (2020). Experimental investigation on flexural behaviour of RC hollow beams. *Materials Today: Proceedings*, 21(xxxx), 351–356. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.05.461>
- Booth, E. (2014). Reinforced concrete design. *Earthquake Design Practice for Buildings*, 163–225. <https://doi.org/10.1680/edpb.57944.163>
- Choo, T. J. M. B. S. (2006). *Reinforced concrete design to euRocodes Concrete Design*.
- Indriani, M., & Sugianto, A. (2016). *Lentur*. 17(2), 219–234.
- Ling, J. H., Chan, L. L., Leong, W. K., & Sia, H. T. (2020). The Development of Finite Element Model to Investigate the Structural Performance of Reinforced Concrete Hollow Beams. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 6(1), 171. <https://doi.org/10.22146/jcef.53301>
- Manikandan, S., Dharmar, S., & Robertravi, S. (2015). Experimental Study on Flexural Behaviour of Reinforced Concrete Hollow Core Sandwich Beams. *International Journal of Advance Research In Science And Engineering*, 4(1), 937–946.
- McCormack, J. (2001). *Desain Beton Bertulang Edisi Kelima Jilid 1*. Erlangga.
- Metode, M., Tujuan, T., Ruang, R. L., & Yang, P. (1991). *Metode pengujian kuat tarik baja beton*. 1–9.
- Mointi, R. (2014). *Radial - Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi Sekolah Tinggi Teknik (STITEK) Bina Taruna Gorontalo Volume 2 No. 2 Kajian Eksperimental Mekanisme Retak Pada Balok Beton Bertulang*. 2(2), 104–115.
- Murugesan, A., & Narayanan, A. (2017). Influence of a Longitudinal Circular Hole on Flexural Strength of Reinforced Concrete Beams. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 22(2), 04016021. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)sc.1943-5576.0000307](https://doi.org/10.1061/(asce)sc.1943-5576.0000307)
- Murugesan, A., & Narayanan, A. (2018). Deflection of Reinforced Concrete Beams with Longitudinal Circular Hole. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 23(1), 04017034.