



Perbandingan Hasil Eksperimen dan Numerik Kekuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Bukaannya (Opening) pada Kondisi *Uncracked Section*

Handika Setya Wijaya¹, Dipa Supriyanti²

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang

Email : handika.civilunitri@gmail.com

Diterima (Agustus, 2019), direvisi (Agustus, 2019), diterbitkan (September, 2019)

Abstract

In the development of building design today, the aspect of efficiency is preferred. One example is in the construction of modern buildings, piping installation is needed to accommodate mechanical and electrical needs. One alternative plan to skip the piping installation is give an opening in the beam. The aim of this research is to find out how big the effect of giving a number of variations in the number of openings in the concrete compression zone to the strength and flexural strength of reinforced concrete beams. Tests carried out are flexural tests with beam test specimens measuring (15 x 25 x 200) cm. Variations of this study are the number of openings with a diameter of 5 cm, amounting to two openings (BB2) and four openings (BB4) and beams without openings (BK). From the results of the study showed that the provision of openings in the tensile zone of the concrete reduced the flexural strength although it was not significant. When compared with BK, the reduction of flexural strength for BB2 beams is 1.26% and the reduction for BB4 beams is 5.66%.

Key Words : *Opening; Flexural Strength; Uncracked Section*

1. PENDAHULUAN

Dalam konstruksi bangunan-bangunan modern, instalasi perpipaan dibutuhkan untuk mengakomodasi kebutuhan mekanikal dan elektrik. Biasanya pipa-pipa tersebut ditempatkan di bawah balok dan untuk alasan keindahan dan ditutup dengan langit-langit sehingga menghasilkan ruang yang tidak terpakai. Salah satu alternatif rencana untuk melewati instalasi perpipaan tersebut adalah dengan membuat bukaan (*opening*) pada balok. Alternatif ini memberikan reduksi volume ruangan yang signifikan dan memberikan desain yang rapi dan ekonomis [1].

Momen kapasitas penampang balok beton dihasilkan dari perkalian resultan gaya tekan (C) dari beton dan lengan (j_d). Sedangkan gaya tekan pada penampang beton dipengaruhi oleh kuat tekan beton (f_c'), lebar penampang (b) dan tinggi blok tegangan tekan ekuivalen (a) [2]. Dengan mengacu pada teori tersebut, hubungannya dengan bukaan pada balok adalah jika bukaan diberikan di daerah bagian tarik penampang, maka tidak ada reduksi kapasitas momen penampang.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah bukaan terhadap kekuatan dan kekakuan lentur balok beton bertulang.

Untuk menghitung kapasitas ultimit menggunakan teori Whitney adalah dengan rumus sebagai berikut :

$$T = A_s \times f_y \dots\dots\dots \text{(Pers. 1)}$$

$$C = 0,85 \times f'_c \times b \times a \dots\dots \text{(Pers. 2)}$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \dots\dots\dots \text{(Pers. 3)}$$

$$j_d = d - 0.5 a \dots\dots\dots \text{(Pers. 4)}$$

Momen tahanan penampang (M_n) dapat ditulis sebagai berikut :

$$M_n = T \times j_d = C \times j_d \dots\dots\dots (2.5)$$

hubungan beban-defleksi pada balok bertulang dapat ditunjukkan dengan grafik trilinear yaitu daerah 1 (praretak), daerah 2 (pasca retak), dan daerah 3 (pasca *serviceability*) [3].

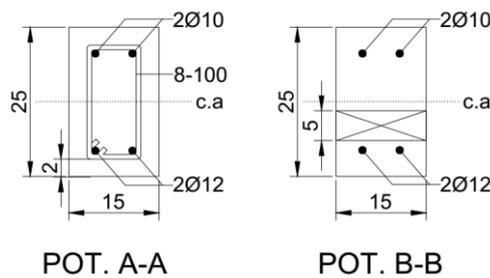
Kemiringan grafik antar daerah dikarenakan momen inersia terus berkurang dengan penambahan beban yang terus diberikan. Rumus lendutan maksimal di setengah bentang untuk balok dengan pembebanan 2 titik adalah:

$$\Delta_{max} = \frac{P \cdot a}{24 \cdot E \cdot I} (3L^2 - 4a^2) \dots\dots\dots (2.6)$$

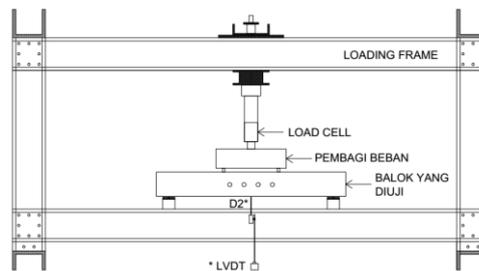
Dari rumus di atas, karena terjadi reduksi momen inersia dari bukaan, maka momen inersia akan semakin kecil dan akibatnya lendutan akan semakin besar.

2. MATERI DAN METODE

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian lentur dengan tumpuan sederhana. Benda uji yang dibuat sebanyak 3 buah untuk variasi balok dua bukaan (BB2), 3 buah untuk variasi balok empat bukaan (BB4), 3 buah untuk variasi balok tanpa bukaan (BK). Ukuran balok semua variasi sama yaitu (200x15x25) cm. Diameter bukaan dari balok dibuat sama yaitu 5 cm yang dipasang di bagian tarik beton dari balok.



Gambar 1. Penampang Melintang Balok Tanpa Bukaan dan Dengan Bukaan



Gambar 2. Setting Up Pengujian Lentur Balok dengan 2 Beban P

Untuk campuran seluruh variasi dibuat sama yaitu 1 PC : 2.68 pasir : 3.15 kerikil. Potongan melintang penampang dapat dilihat pada Gambar 1. Setelah menyiapkan semua material, maka dapat dilakukan pengecoran benda uji. Kemudian dilakukan proses perawatan benda uji selama 28 hari, dapat dilakukan pengujian terhadap benda uji tersebut. Pengujian pembebanan pada balok dilakukan seperti pada Gambar 2.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Kuat Tekan Beton Hasil Eksperimen

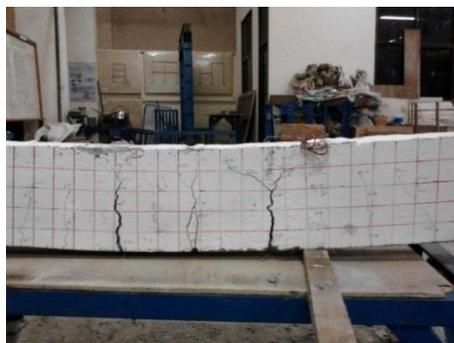
Dua puluh tujuh benda uji beton silinder pada umur 28 hari sebagai sampel pengecoran untuk mendapatkan karakteristik campuran beton. Pengujian kuat tekan beton silinder menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 23.75 MPa. Nilai ini akan digunakan sebagai nilai kuat tekan dalam perhitungan teoritis pada penelitian ini.

3.2 Pengujian Kuat Tarik Tulangan Hasil Eksperimen

Dalam penelitian ini digunakan baja polos untuk tulangan tarik, tulangan tekan dan tulangan sengkang. Untuk tulangan tarik digunakan baja polos \varnothing 11.7 mm, sedangkan tulangan tekan digunakan \varnothing 9.7 mm dan tulangan sengkang digunakan \varnothing 7.7 mm. Dari pengujian tarik baja didapatkan tegangan leleh / luluh (f_y) rata-rata untuk tulangan tarik sebesar 390.85 MPa dan tegangan leleh untuk tulangan tekan sebesar 406.17 MPa dan tulangan sengkang sebesar 429.71 MPa.

3.2 Pengujian Kuat Lentur Hasil Eksperimen Pada Kondisi Uncracked Section

Model benda uji balok hasil eksperimen dapat dilihat pada gambar 5 sampai dengan 7. Untuk benda uji balok tanpa bukaan atau Balok Kontrol (BK) dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Geometri Balok Kontrol (BK)

Untuk benda uji balok dengan dua bukaan dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Geometri Balok BB2

Untuk benda uji balok dengan empat bukaan dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.



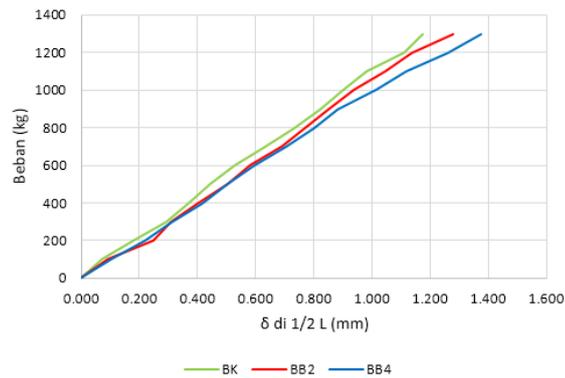
Gambar 5. Geometri Balok BB4

Nilai beban dan lendutan untuk balok BB2, balok BB4 dan balok BK pada kondisi praretak diberikan pada Tabel 1. sebagai berikut

Tabel 1. Nilai Beban dan Lendutan pada Saat Kondisi Praretak

Beban (P) kg	Lendutan di setengan bentang (mm)		
	BK	BB2	BB4
0	0.000	0.000	0.000
100	0.073	0.093	0.103
200	0.180	0.247	0.220
-	-	-	-
600	0.530	0.580	0.597
700	0.633	0.690	0.707

Grafik beban dan lendutan pada Tabel di atas ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hubungan Beban dan Lenturan pada Kondisi Praretak

3.3 Pembahasan

Untuk kondisi praretak, dari hasil di atas dapat dianalisis bahwa dengan pemberian beban yang besarnya sama, misalkan pada beban 700 kg, lendutan maksimal di setengah bentang nilainya berbeda yaitu BK = 0.633 mm, BB2 = 0.69 mm dan BB4 = 0.707 mm. Hal ini dikarenakan Inersia *gross* (I_g) yang pada kondisi praretak berkurang akibat adanya bukaan. MacGregor & Wight (2012) menyatakan bahwa ketika momen inersia berkurang akan dapat menyebabkan sebuah reduksi kekakuan dalam diagram beban-lendutan [5].

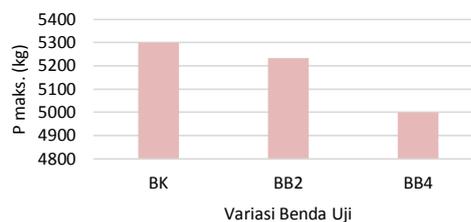
3.4 Kapasitas Dalam Menahan Beban Maksimum

Hasil dari kekuatan ultimit masing masing variasi dapat ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Kapasitas dalam Menahan Beban Masing-Masing Variasi

Tipe balok	P max Eksperimen (kg)
BK	5300
BB2	5233
BB4	5000

Grafik nilai kekuatan pada Tabel di atas ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 7. Perbandingan Beban Ultimit Masing-Masing Variasi

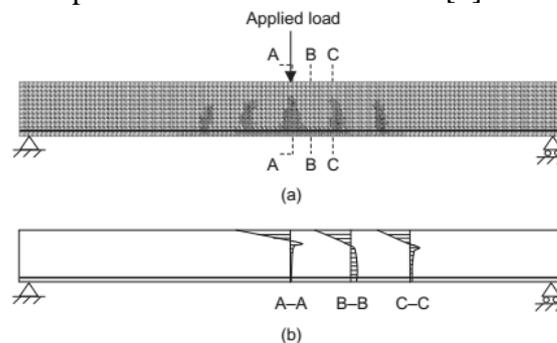
3.5 Pembahasan

Dari grafik di atas, dapat dianalisis bahwa terdapat reduksi kekuatan dalam menahan beban jika dibandingkan dengan balok kontrol masing-masing sebesar 1.26% untuk balok dengan dua bukaan (BB2) dan 5.66% untuk balok dengan empat bukaan (BB4).

Dari teori Whitney, peran kekuatan beton di bawah garis netral dianggap tidak mempunyai pengaruh terhadap kekuatan ultimit dari sebuah balok karena kekuatan tarik sepehuhnya diterima oleh tulangan tarik. Sehingga secara teoritis momen kapasitas penampang antara BK, BB2 dan BB4 mempunyai nilai yang sama. Tetapi hasil pengujian menunjukkan nilai yang berbeda.

Kumar & Joy (2013) meneliti penggantian parsial beton di bawah garis netral pada balok dengan bola plastik. Pemberian bola plastik di bagian tarik pada beton ternyata mereduksi kekuatan lentur ultimit dari balok tersebut meskipun tidak signifikan. Peneliti tersebut menyatakan bahwa meskipun kekuatan beton di bawah garis netral diabaikan, tetapi beton yang berada di bawah garis netral mempunyai peran yaitu sebagai media transfer tegangan antara zona tekan ke zona tarik [4].

Ng et al. (2010) memberikan diagram tegangan beton yang bekerja pada saat pembebanan seperti dilihat pada Gambar 8 di bawah ini [6].

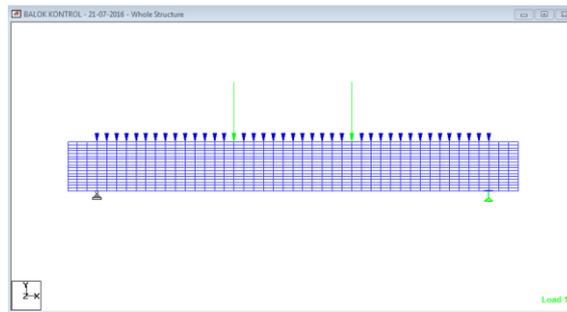


Gambar 8. (a) Pola Retak (b) Distribusi Tegangan pada Beton. Sumber : (Ng et al., 2010)

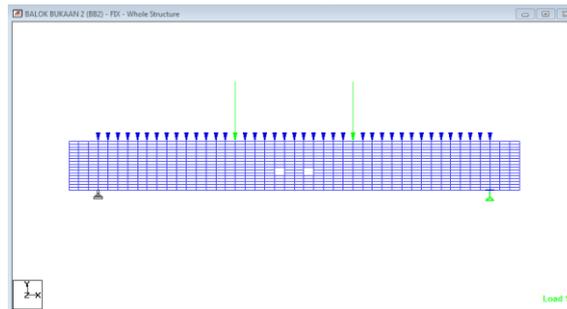
Dari Gambar di atas, untuk tegangan beton di bawah garis netral ternyata masih terdapat nilainya. Apabila di bawah garis netral tersebut ada bukaan, maka tegangan tarik pada beton di area tersebut akan terganggu sehingga selanjutnya akan mempengaruhi besarnya tegangan tekan. Maka dari itu kekuatan ultimit antara balok dengan bukaan akan lebih kecil dari balok beton biasa meskipun besarnya tidak terlalu signifikan.

3.6 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Hasil Numerik pada Uncracked Section

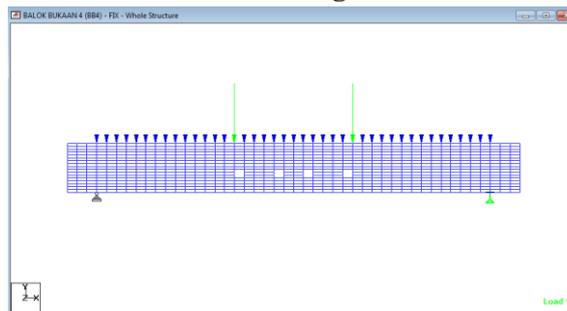
Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan, digunakan metode numerik berbasis *software* dan hitungan analitis untuk memverifikasi hasil eksperimen tersebut. Dalam penelitian ini verifikasi menggunakan bantuan *software* Staad Pro v8i dengan menggunakan elemen solid. Hasil modelisasi struktur Balok BK, BB2 dan BB4 dapat dilihat pada gambar 9 sampai dengan 11.



Gambar 9. Geometri balok BK dengan elemen solid Staad Pro V8i

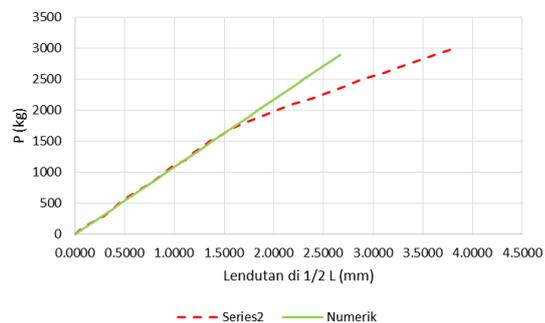


Gambar 10. Geometri balok BB2 dengan elemen solid Staad Pro V8i

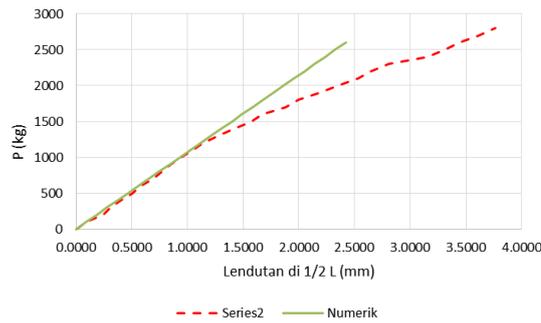


Gambar 11. Geometri balok BB4 dengan elemen solid Staad Pro V8i

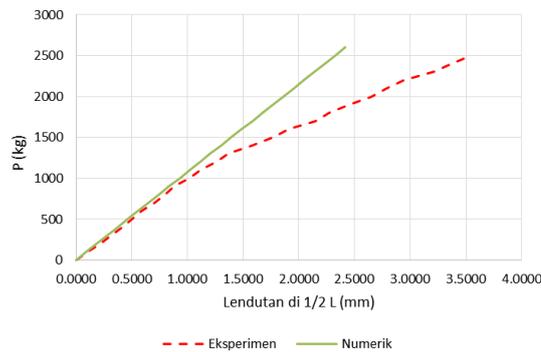
Hasil perbandingan antara eksperimen dan numerik dapat dilihat pada Gambar 12 sampai dengan 14 di bawah ini untuk variasi BK, BB2, dan BB4.



Gambar 12. Perbandingan P vs Δ Hasil Eksperimen, Analitis dan Numerik pada balok BK



Gambar 13. Perbandingan P vs Δ Hasil Eksperimen, Analitis dan Numerik pada balok BB2



Gambar 14. Perbandingan P vs Δ Hasil Eksperimen, Analitis dan Numerik pada balok BB4

4. KESIMPULAN

Kekakuan lentur yang dihasilkan dari pengujian lentur balok beton sederhana 2 tumpuan dengan variasi jumlah bukaan pada balok balok mengalami penurunan kekakuan pada kondisi praretak. Nilai kekakuan pada taraf beban sebesar 700 kg, jika dibandingkan dengan balok kontrol (BK) terjadi reduksi kekakuan lentur untuk BB2 sebesar 9% dan untuk BB4 sebesar 15.24%. Berdasarkan uji statistik, penambahan jumlah bukaan pada balok memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekakuan balok pada kondisi praretak. Kekuatan lentur yang dihasilkan dapat dilihat dari kapasitas balok dalam menahan beban maksimum yang diberikan. Kekuatan lentur pada balok dengan bukaan mengalami reduksi dibanding dengan balok tanpa bukaan. Dalam prosentase, jika dibandingkan dengan balok kontrol (BK), reduksi kekuatan lentur untuk BB2 sebesar 1.26% dan untuk BB4 sebesar 5.66%. Berdasarkan uji statistik, penambahan jumlah bukaan tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan balok beton sederhana 2 tumpuan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mansur, M. A. (2006). *Design Of Reinforced Concrete Beams With Web Openings*. Makalah dalam Proceedings of the 6th Asia-Pacific Structural Engineering and Construction Conference (APSEC 2006). Kuala Lumpur, 5 – 6 September 2006.



- [2] Park, R dan T, Paulay. (1975). *Reinforced Concrete Structures*. John Wiley & Sons : New York.
- [3] Nawi, Edward G. (1998). *Beton Bertulang : Suatu Pendekatan Dasar*. Terjemahan Bambang Suryoatmono. Refika Aditama : Bandung.
- [4] Kumar, Aswathy S & Anup, Joy. (2013). Experimental Investigation on Partial Replacement of Concrete Below Neutral Axis of Beam. *International Journal Of Science and Research (IJSRD)*. Index Copernicus Value : 6.14.
- [5] MacGregor, James G. & James, K. Wight. (2009). *Reinforced Concrete Mechanics and Design*. Pearson Education : New Jersey.
- [6] Ng, Ng L., Jeffrey, Y. K. L. & Kwan, AKH. (2010). Tension Stiffening in Concrete Beams. Part 1 : FE Analysis. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Structural and Building 163* : 19-28. Attribution 3.0 Hong Kong License.