

## ANALISIS KAPASITAS BALOK BETON BERTULANG DENGAN LUBANG PADA BADAN BALOK

Yacob Yonadab Manuhua

Steenie E. Wallah, Servie O. Dapas

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email : [jacobmanuhua@gmail.com](mailto:jacobmanuhua@gmail.com)

### ABSTRAK

*Konstruksi gedung bertingkat biasanya membutuhkan jaringan utilitas seperti saluran kabel listrik, perpipaan, kabel telepon, pendingin ruangan dan lain-lain. Biasanya jaringan ini ditempatkan pada ruang diatas plafon atau dipasang menempel pada balok. Penempatan ini dapat mengurangi tinggi ruangan pada bangunan, sehingga diperlukan alternatif desain yang diantaranya dengan memanfaatkan ruang-ruang pada balok struktur. Balok beton bertulang dengan lubang pada badan balok berfungsi sebagai struktur yang menahan dan menyalurkan beban-beban yang bekerja di atasnya, tetapi juga berfungsi sebagai pendukung utilitas. Selain itu, web openings pada balok dapat meminimalisasi tinggi atau space dari ruang, juga akan mereduksi volume beton yang digunakan serta lebih rapi.*

*Pada penelitian ini akan dikaji balok beton dengan tumpuan jepit-jepit dengan lubang pada badan balok yang ditempatkan pada daerah seperempat bentang, dengan variasi panjang lubang, tinggi lubang serta luas lubang. Capaian dari penelitian ini adalah melihat fenomena balok beton bertulang akibat pembuatan lubang pada badan balok dengan mengkaji nilai tegangan normal, nilai tegangan geser, nilai momen lentur, nilai gaya geser dan nilai lendutan akibat balok berlubang yang dibandingkan dengan balok tidak berlubang.*

*Dari hasil pengujian yang dilakukan, diperoleh terjadi kenaikan nilai tegangan, nilai momen, nilai geser di sekitar daerah perlubangan. Seiring bertambah besar panjang dan tinggi lubang, maka nilai tegangannya pun semakin besar. Lendutan semakin bertambah seiring dengan bertambah besarnya variasi lubang ataupun penambahan beban. Hasil menunjukkan ukuran lubang 10cm x 10 cm dan 15 cm x 15 cm nilai lendutannya lebih kecil daripada lendutan balok utuh. Mengingat kenaikan nilai kapasitas pada daerah perlubangan, diperlukan perkuatan struktur berupa pemasangan tulangan disekitar lubang.*

**Kata Kunci :** Lubang pada Balok, Kapasitas Balok, Web Openings

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang Masalah

Konstruksi gedung bertingkat biasanya membutuhkan jaringan utilitas seperti saluran kabel listrik, perpipaan, kabel telepon, pendingin ruangan dan lain-lain. Biasanya jaringan ini ditempatkan pada ruang diatas plafon atau dipasang menempel pada balok. Penempatan ini dapat mengurangi tinggi ruangan pada bangunan serta terlihat tidak rapi jika dilihat dari segi estetika, sehingga diperlukan alternatif desain yang diantaranya dengan memanfaatkan ruang-ruang pada balok struktur.

Apabila struktur gedung tersebut berupa struktur beton bertulang, maka akan memungkinkan untuk mendesain balok beton bertulang berlubang pada badan (*web openings*), dimana selain berfungsi sebagai struktur yang menahan dan menyalurkan beban-beban yang

bekerja di atasnya, tapi juga berfungsi sebagai pendukung utilitas. Selain itu, *web openings* pada balok dapat meminimalisasi tinggi atau *space* dari ruang, juga akan mereduksi volume beton yang digunakan serta lebih rapi.

Pada balok beton bertulang berlubang (*web openings*) akan terjadi pengurangan kekuatan struktur balok atau terjadi perlemahan pada balok akibat pengurangan dimensi penampang. Selain itu, pembuatan lubang pada balok dapat mengurangi kekakuan dari balok tersebut.

Agar stabilitasnya terjamin, diperlukan analisis yang tepat untuk mengetahui pengaruh kapasitas balok beton bertulang yang diberi lubang pada badan balok (*web openings*).

#### Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Membandingkan nilai kapasitas dari balok beton bertulang utuh dengan balok beton berlubang.
- Mengamati pola tegangan normal, tegangan geser, momen lentur, gaya geser dan lendutan yang terjadi pada balok beton berlubang.
- Mengetahui pengaruh lubang pada badan balok (*web openings*) terhadap nilai kapasitas balok beton bertulang.

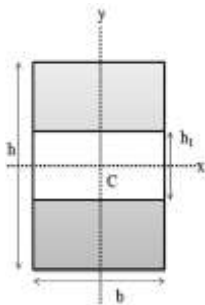
**Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah :

- Menjadi acuan dalam perencanaan konstruksi bangunan yang akan dibuat lubang pada badan balok.
- Menambah informasi mengenai analisis kapasitas balok beton bertulang dengan menggunakan program SAP2000.

**LANDASAN TEORI**

**Momen Inersia Gabungan**



Gambar 1. Momen Inersia Gabungan

Inersia suatu area komposit terhadap sumbu manapun merupakan jumlah dari momen inersia bagian-bagiannya terhadap sumbu yang sama. Untuk kasus disamping dengan balok yang berlubang, inersia dapat dicari dengan :

$$I_x = \frac{1}{12}bh^3 - \frac{1}{12}bh_1^3$$

**Tegangan Lentur**

Besaran tegangan lentur dipengaruhi oleh nilai momen pada penampang dan jarak ke titik netral yang berbanding lurus serta inersia penampang yang berbanding terbalik dengan nilai tegangannya.

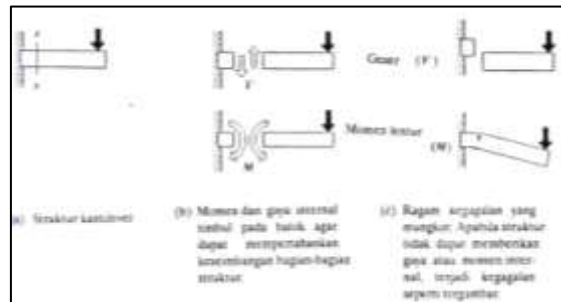
$$\sigma_x = - \frac{M \cdot y}{I}$$

**Tegangan Geser**

Besaran tegangan geser dipengaruhi oleh nilai gaya geser pada penampang statis momen penampangnya yang berbanding lurus serta inersia penampang dan lebar balok yang berbanding terbalik dengan nilai tegangannya.

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b}$$

**Geser dan Momen**



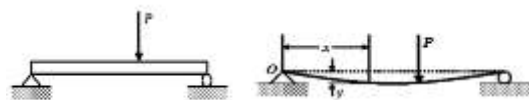
Gambar 2. Kegagalan Geser dan Momen

Ada dua cara utama balok tersebut mengalami kegagalan akibat beban, yaitu :

- Kegagalan akibat beban dimana dua potongan balok yang berdekatan bergelincir satu sama lain dalam arah sejajar dengan bidang kontakannya. Ini adalah yang disebut *kegagalan geser*.
- Kegagalan ini tentu saja diasosiasikan dengan kecenderungan gaya eksternal transversal menyebabkan rotasi pada struktur atau *melentur (bend)*.

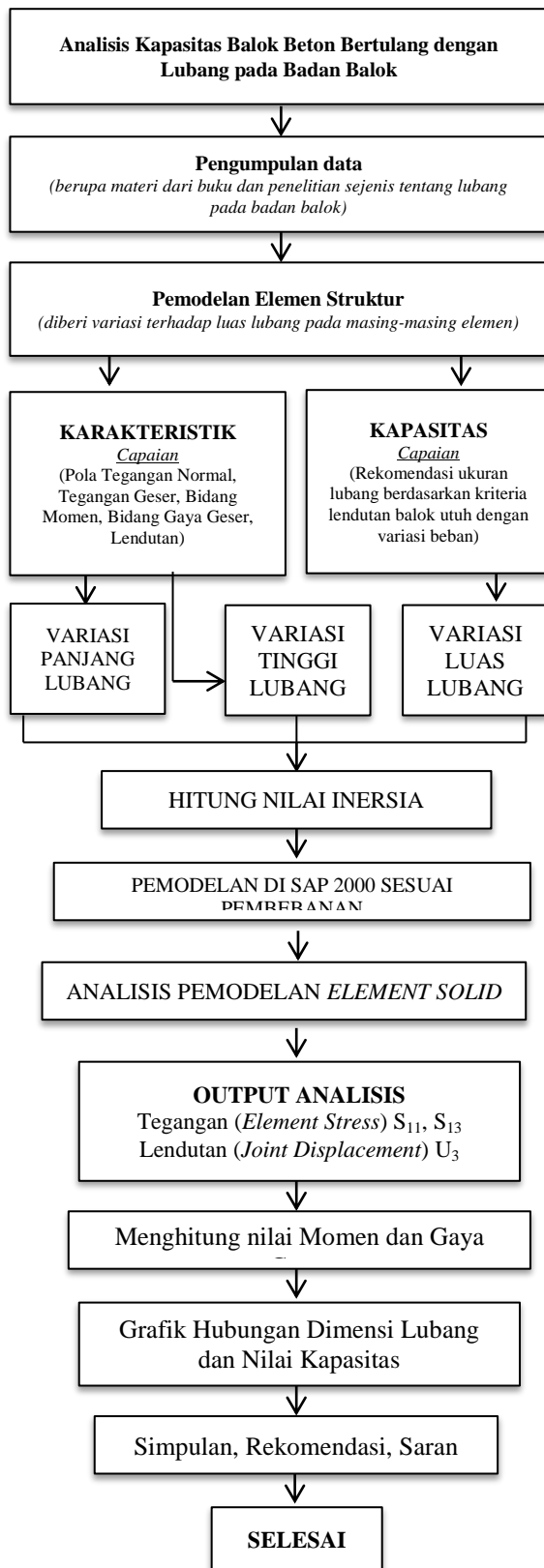
**Defleksi**

Defleksi adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah y akibat adanya pembebanan vertical yang diberikan pada balok atau batang. Sumbu sebuah batang akan terdeteksi dari kedudukannya semula bila benda dibawah pengaruh gaya terpakai. Dengan kata lain suatu batang akan mengalami pembebanan transversal baik itu beban terpusat maupun terbagi merata akan mengalami defleksi.



Gambar 3. Defleksi

**PROSEDUR ANALISIS**



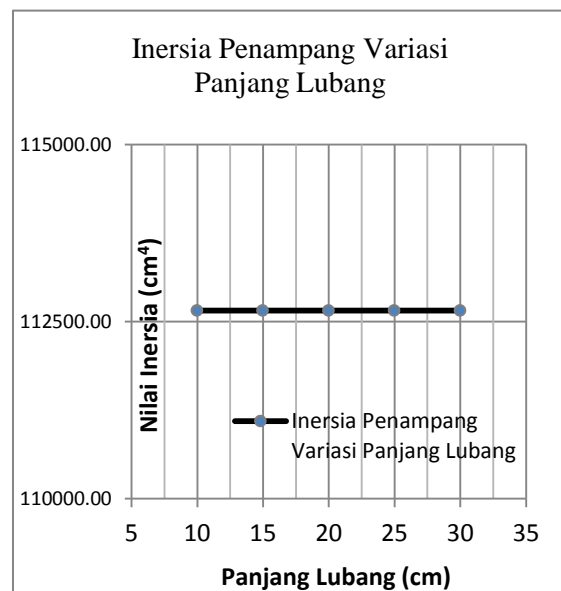
Gambar 4. Prosedur Analisis

Komponen Pemodelan :

- Live Load* tetap sebesar 250 KN untuk variasi panjang dan tinggi, sedangkan variasi luas bebannya dari 250 KN – 1250 KN.
- Panjang dan tinggi lubang tetap 10 cm, sedangkan variabel bebasnya bertambah 5 cm.
- Penempatan lubang di daerah ¼ bentang ( $\frac{1}{4} \times 300 \text{ cm} = 75 \text{ cm}$ ), dimana titik tengah lubang arah x terdapat pada jarak 75 cm dan titik tengah arah z terdapat pada tinggi ( $\frac{1}{2} H = \frac{1}{2} \cdot 45 \text{ cm} = 22.5 \text{ cm}$ ).
- Dibuat 2 lubang yang ditempatkan pada daerah ¼ bentang kanan dan ¼ bentang kiri.
- Kombinasi pembebanan : D + L ( SLS).
- Tumpuan jepit-jepit, ukuran balok 15/45 dengan panjang bentang 300 cm.
- $f'c = 30 \text{ MPa}$  dengan ukuran *solid* minimum 5 cm x 5 cm x 5 cm.
- Titik tinjauan yaitu serat atas bentang.

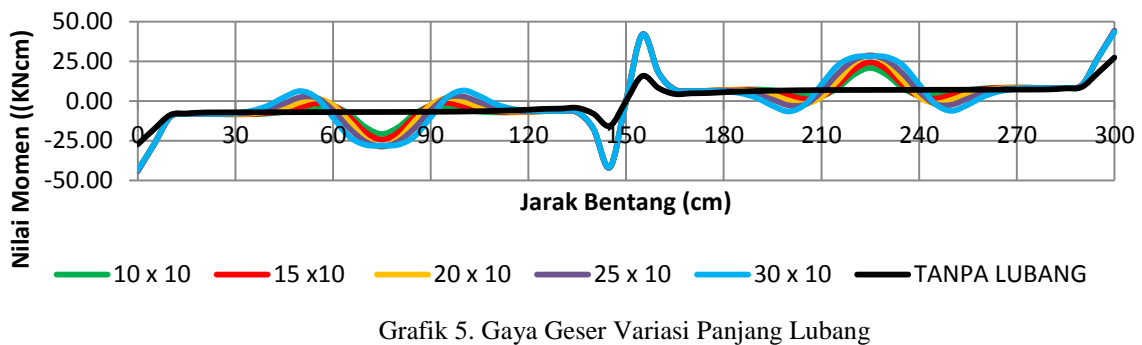
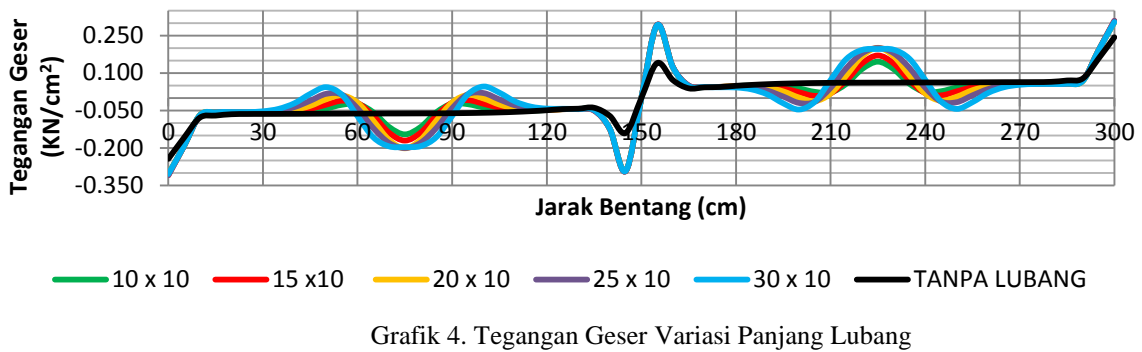
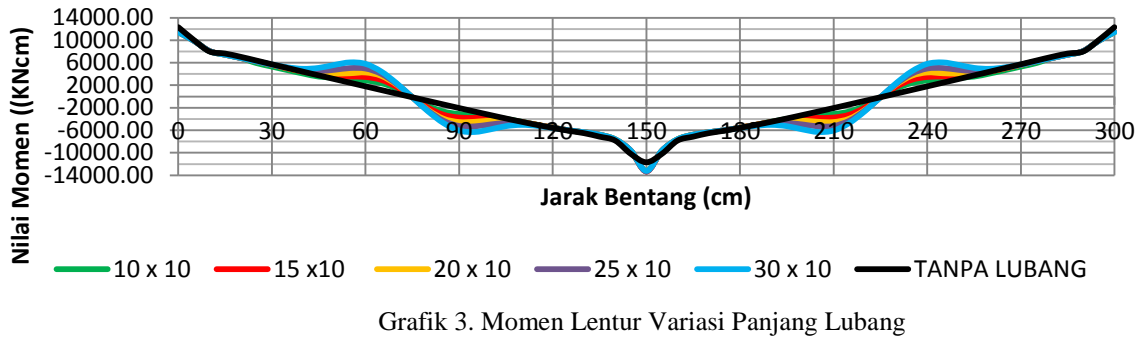
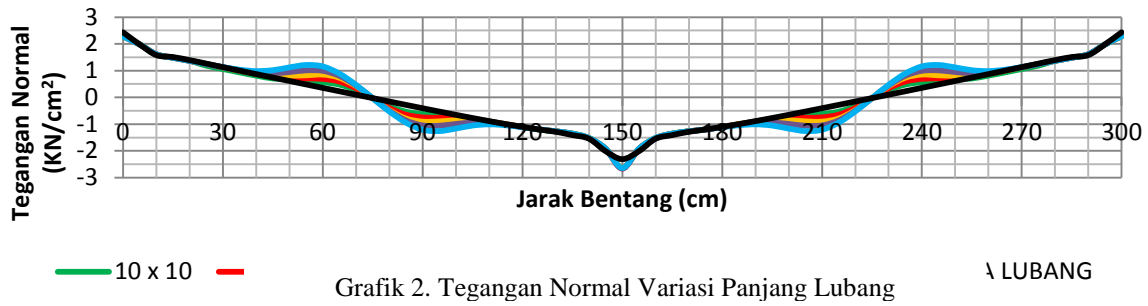
**HASIL PENELITIAN**

Variasi Panjang Lubang



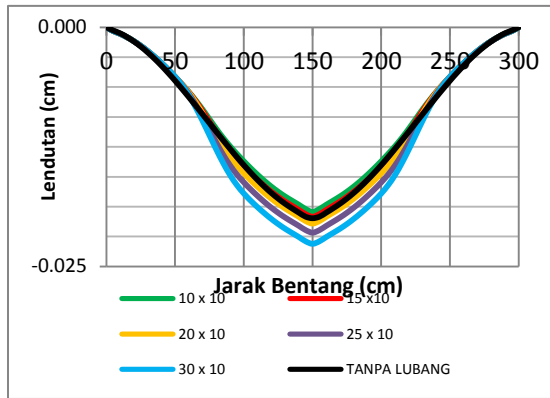
Grafik 1. Inersia Variasi Panjang Lubang

Penambahan panjang lubang tidak mempengaruhi nilai inersia penampang, sehingga nilai inersianya tetap.



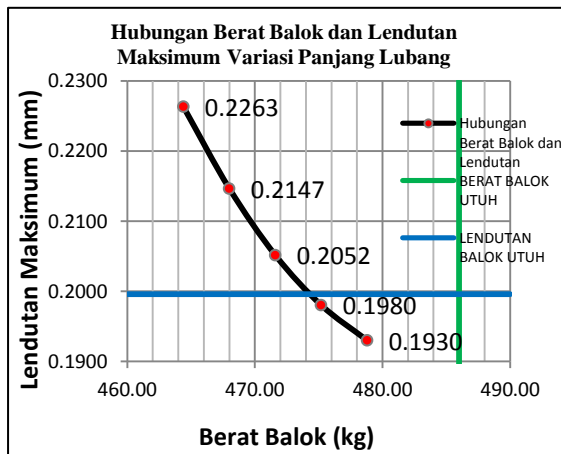
Tabel 1. Persentase Kenaikan Variasi Panjang Lubang

PERSENTASE KENAIKAN (%)		Tegangan Normal	Momen Lentur	Tegangan Geser	Gaya Geser
Posisi Maksimum	70 cm	86.1	70.3		
	75 cm			62.0	69.7

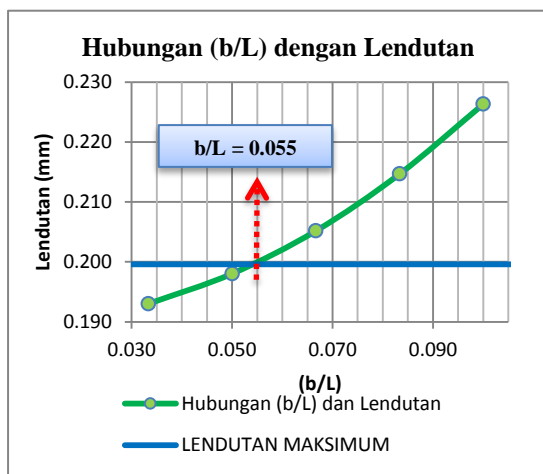


Grafik 6. Lendutan Variasi Panjang Lubang

Lendutan sepanjang bentang dengan kenaikan rata-rata akibat penambahan variasi panjang yaitu 3.17 %.



Grafik 7. Hubungan Berat Balok dan Lendutan

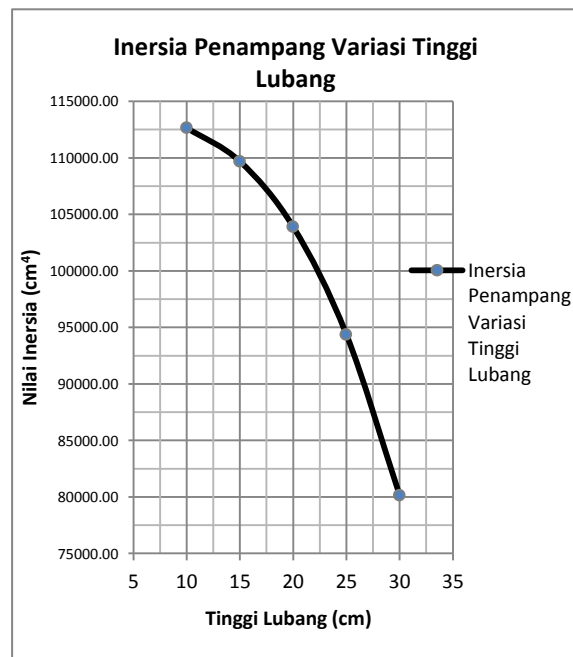


Grafik 8. b/L dengan Lendutan

Hubungan berat balok dan lendutan maksimum dengan variasi panjang lubang menunjukkan semakin ringan balok beton, maka lendutan maksimum pada tengah bentang akan semakin besar. Pada panjang lubang 10 cm dan 15 cm menunjukkan hasil lendutan yang lebih kecil dari balok utuh. Artinya volume beton yang dipakai semakin kecil namun belum melewati batas lendutan oleh penampang utuh.

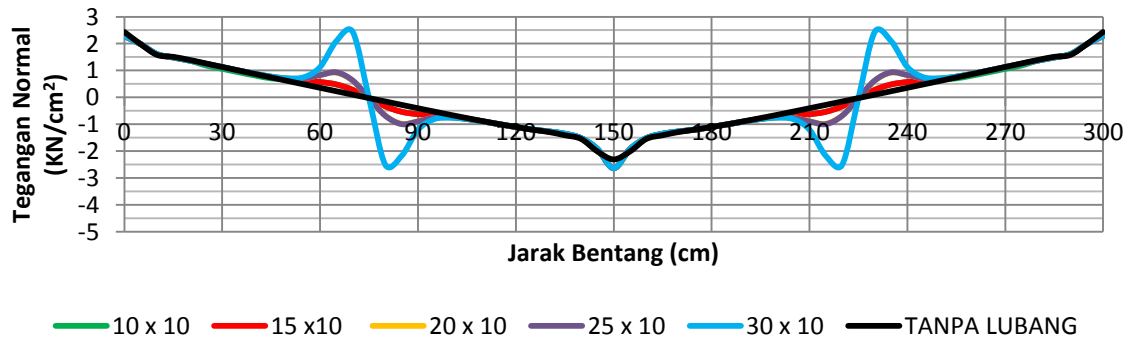
Pada grafik hubungan b/L dengan lendutan yang berpotongan dengan lendutan maksimum oleh balok utuh tanpa lubang. Dan titik berpotongan menghasilkan nilai perbandingan yaitu  $b = 0.055 L$ . Dengan panjang bentang ( $L$ ) = 300 cm, didapat panjang lubang ( $b$ ) = 16.5 cm Artinya jika dibuat lubang dengan variasi  $< 16.25$  cm, maka nilai lendutannya tidak akan melewati nilai lendutan maksimum balok utuh.

### Variasi Tinggi Lubang

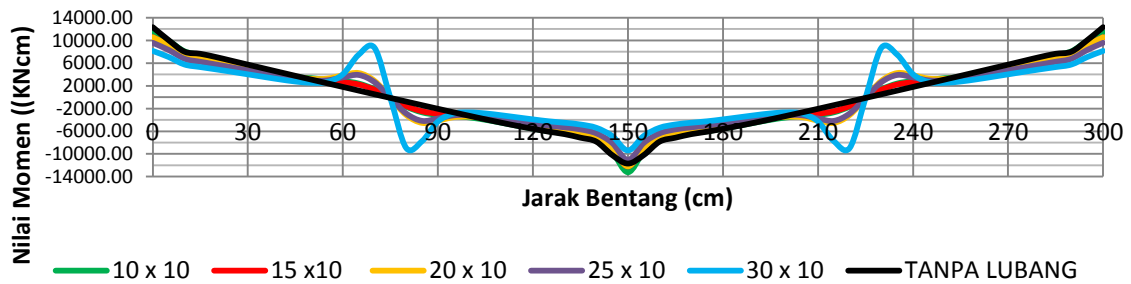


Grafik 9. Inersia Variasi Tinggi

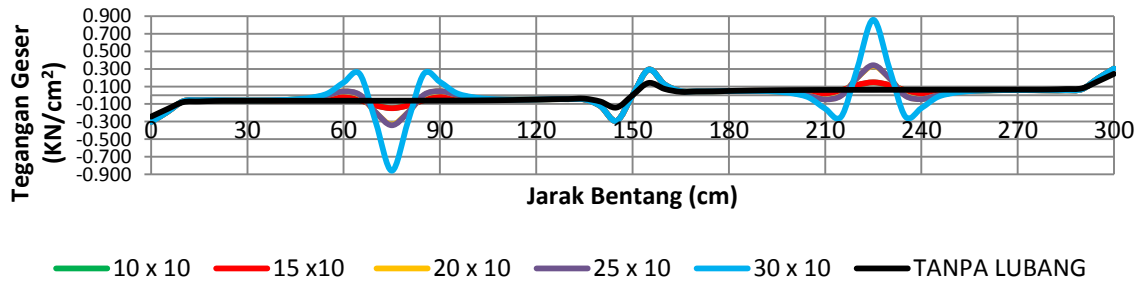
Penambahan tinggi lubang sangat mempengaruhi nilai inersia penampang, sehingga nilai inersianya berubah semakin menurun.



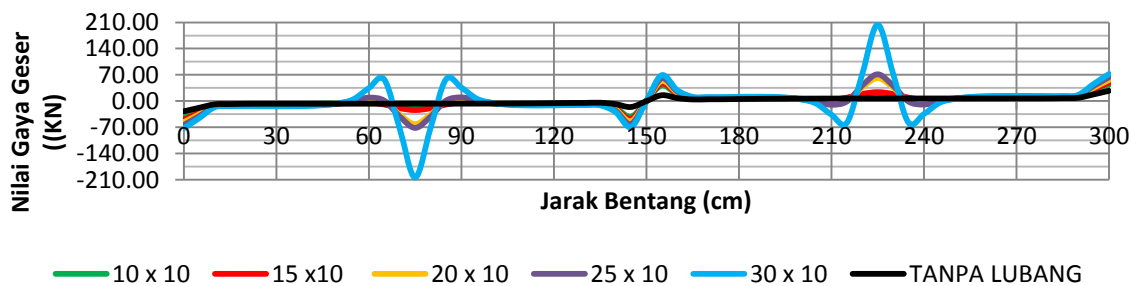
Grafik 10. Tegangan Normal Variasi Tinggi Lubang



Grafik 11. Momen Lentur Variasi Tinggi Lubang



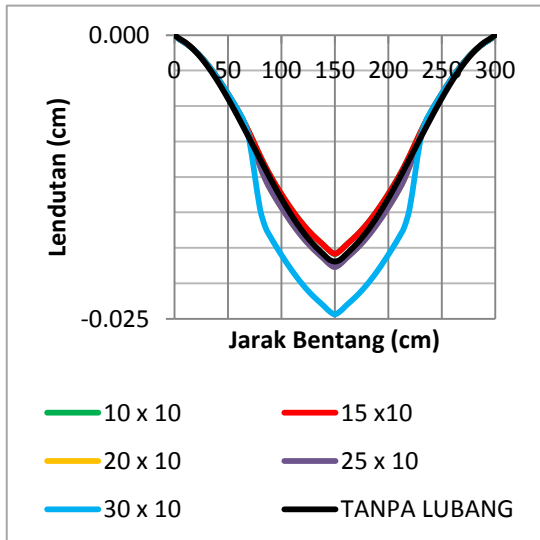
Grafik 12. Tegangan Geser Variasi Tinggi Lubang



Grafik 13. Gaya Geser Variasi Tinggi Lubang

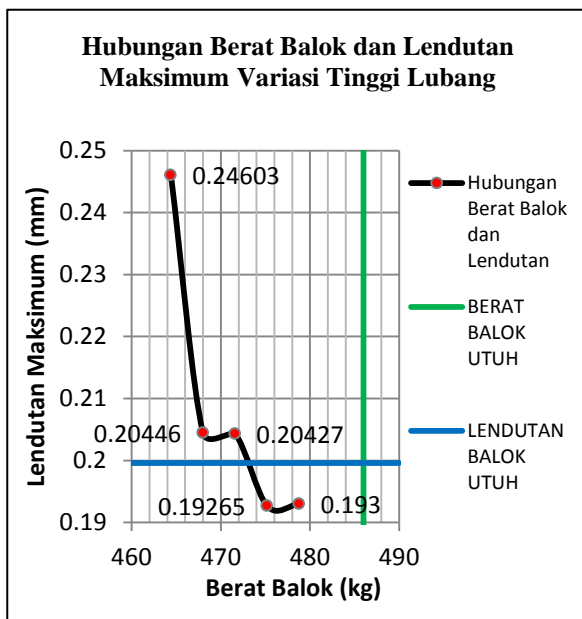
Tabel 2. Persentase Kenaikan Variasi Tinggi

PERSENTASE KENAIKAN (%)		Tegangan Normal	Momen Lentur	Tegangan Geser	Gaya Geser
Posisi Maksimum	70 cm	84.5	82.5		
	75 cm			80.37	89.7



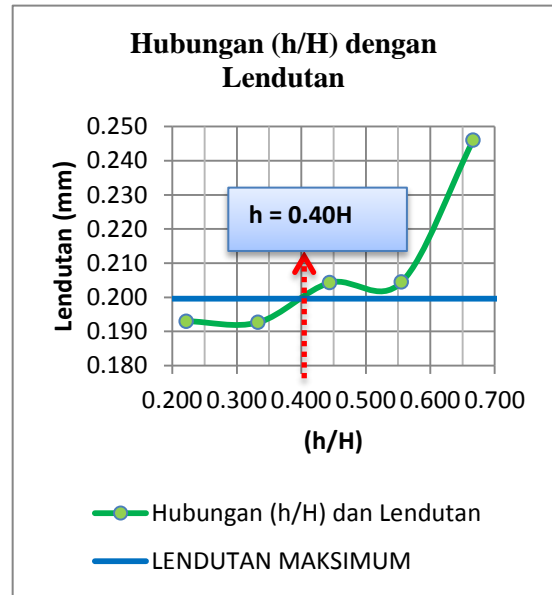
Grafik 14. Lendutan Variasi Tinggi Lubang

Lendutan sepanjang bentang dengan kenaikan rata-rata akibat penambahan variasi panjang yaitu 3.42 %.



Grafik 15. Hubungan Berat Balok dan Lendutan

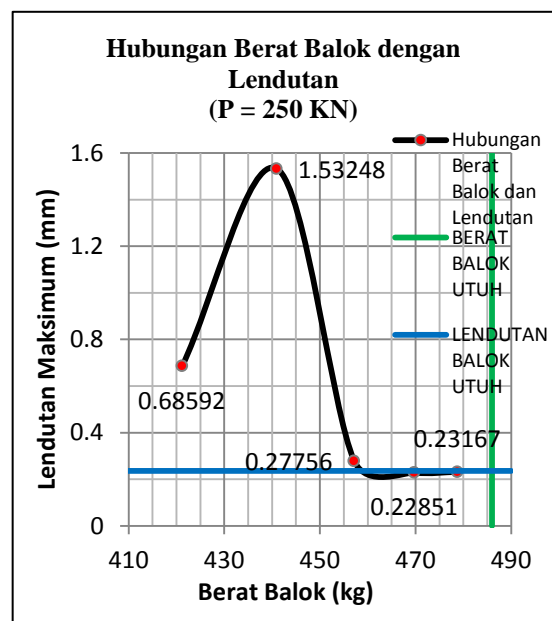
Hubungan berat balok dan lendutan maksimum dengan variasi tinggi lubang menunjukkan semakin ringan balok beton, maka lendutan maksimum pada tengah bentang akan semakin besar. Pada tinggi lubang 10 cm dan 15 cm menunjukkan hasil lendutan yang lebih kecil dari balok utuh. Artinya volume beton yang dipakai semakin kecil namun belum melewati batas lendutan oleh penampang utuh.



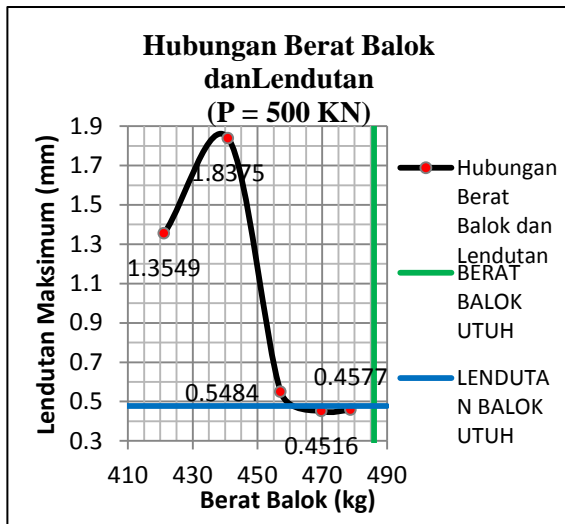
Grafik 16. h/H dengan Lendutan

Pada grafik hubungan h/H dengan lendutan yang berpotongan dengan lendutan maksimum oleh balok utuh tanpa lubang. Dan titik berpotongan menghasilkan nilai perbandingan yaitu  $h = 0.400H$ . Dengan tinggi balok ( $H$ ) = 300 cm, didapat tinggi lubang ( $h$ ) = 18.00 cm Artinya jika dibuat lubang dengan variasi < 18.0 cm, maka nilai lendutannya tidak akan melewati nilai lendutan maksimum balok utuh.

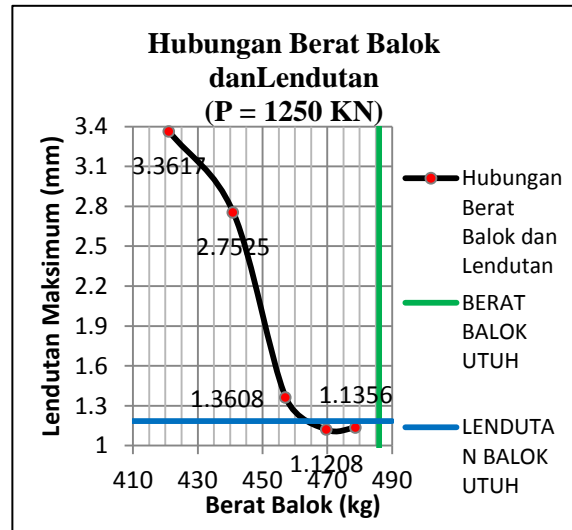
#### Variasi Luas Lubang



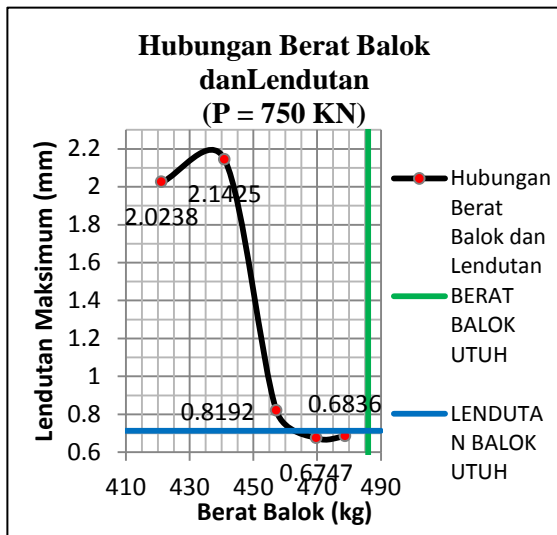
Grafik 17. Hubungan Berat & Lendutan (P=250 KN)



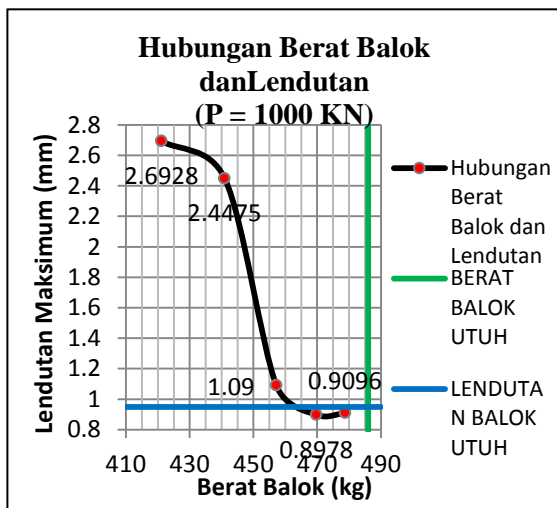
Grafik 18. Hubungan Berat & Lendutan (P=500 KN)



Grafik 21. Hubungan Berat & Lendutan (P=1250 KN)



Grafik 19. Hubungan Berat & Lendutan (P=750 KN)



Grafik 20. Hubungan Berat & Lendutan (P=1000 KN)

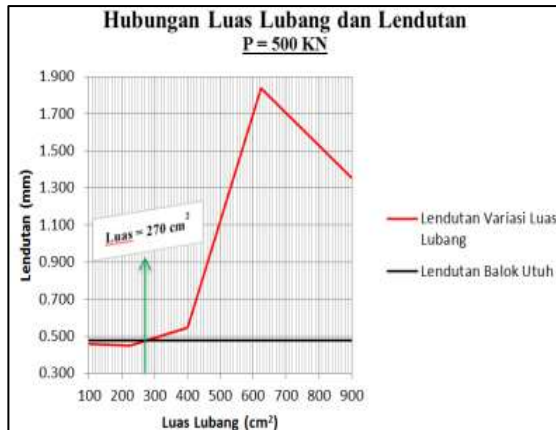
Grafik diatas menunjukkan terjadi lendutan pengurangan volume beton. Hasil menunjukkan semakin besar volume beton yang dikeluarkan/ semakin ringan beton, maka semakin besar lendutan.

Lima variasi beban yang dibuat, terlihat bahwa berat balok 478.80 kg (ukuran lubang 10 cm x 10 cm) dan 469.80 kg (ukuran lubang 15 x 15 cm) memberikan hasil lendutan dibawah lendutan balok utuh. Berat balok semakin ringan namun tetap nilai lendutannya masih memenuhi.



Grafik 22. Hubungan Luas & Lendutan (P=250 KN)





Grafik 23. Hubungan Luas & Lentutan (P=500 KN)



Grafik 26. Hubungan Luas & Lentutan (P=1250 KN)



Grafik 24. Hubungan Luas & Lentutan (P=750 KN)



Grafik 25. Hubungan Luas & Lentutan (P=1000 KN)

Dari hasil diatas menunjukkan luas lubang yang nilai lentutannya masih dibawah lentutan balok utuh adalah  $\pm 270 \text{ cm}^2$ . Jika diambil nilai akar dari  $270 \text{ cm}^2$ , maka ukuran lubang yang memenuhi lentutan dibawah lentutan balok utuh yaitu :

$$b, h = \sqrt{270 \text{ cm}^2}$$

$$b, h = 16,43 \text{ cm}$$

Ukuran balok  $b = h = 16.43 \text{ cm}$  dengan variasi beban 250 KN sampai 1250 KN juga penempatan pada daerah  $\frac{1}{4}$  bentang, nilai lentutannya masih dibawah nilai lentutan balok utuh tanpa balok.

## PENUTUP

### Simpulan

a. Variasi panjang lubang tidak terjadi perubahan nilai inersia karena tinggi lubang tetap. Pada daerah sekitar perlubangan ( $\frac{1}{4}$  bentang) menunjukkan hasil kenaikan nilai rata-rata pada jarak  $\pm 25 \text{ cm}$  dari daerah bentang, yaitu :

- Tegangan Normal = 86,1 %
- Momen Lentur = 70,3 %
- Tegangan Geser = 62,0 %
- Gaya Geser = 69.7 %

Untuk lentutan maksimum terjadi pada daerah tengah bentang dengan rata-rata kenaikan nilai yaitu 3,23%. Panjang lubang 10 cm dan 15 cm mempunyai nilai lentutan yang lebih kecil dari lentutan maksimum balok tanpa lubang

- b. Variasi tinggi lubang terjadi perubahan nilai inersia karena tinggi lubang berubah. Pada daerah sekitar perlubangan ( $\frac{1}{4}$  bentang) menunjukkan hasil kenaikan nilai rata-rata pada jarak  $\pm 25$  cm dari daerah bentang, yaitu:
- Tegangan Normal = 84.5 %
  - Momen Lentur = 82.5 %
  - Tegangan Geser = 80,0 %
  - Gaya Geser = 89.3 %
- Untuk lendutan maksimum terjadi pada daerah tengah bentang dengan rata-rata kenaikan nilai yaitu 3,42%. Tinggi lubang 10 cm dan 15 cm mempunyai nilai lendutan yang lebih kecil dari lendutan maksimum balok tanpa lubang
- c. Variasi luas lubang menunjukkan semakin besar beban, maka nilai lendutan semakin besar. Hal ini juga selaras dengan semakin luas lubang, nilai lendutan semakin besar juga. Pada hubungan berat balok dan lendutan terlihat luas lubang  $100 \text{ cm}^2$  (10cm x 10 cm) dan  $225 \text{ cm}^2$  (15 cm x 15 cm) sekalipun dilakukan penambahan beban, tetap nilai lendutan kedua luasan ini tidak melebihi luas balok tanpa lubang.

### Saran

- a. Penelitian ini harus dilanjutkan dengan metode analisis manual agar mendapatkan hasil yang lebih signifikan. Mengingat perhitungan ini hanya pendekatan untuk mengungkapkan fenomena balok berlubang.
- b. Penelitian ini juga dapat dilanjutkan dengan memberi perkuatan disekitar lubang dengan menambah tulangan.
- c. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan eksperimen di laboratorium.

### Rekomendasi

- a. Panjang lubang yang direkomendasikan yaitu 16,25 cm ( $b = 0.055L$ )
- b. Tinggi lubang yang direkomendasikan yaitu 18,00 cm ( $h = 0.40H$ )
- c. Luas lubang yang direkomendasikan yaitu  $270 \text{ cm}^2$ . Ukuran persegi panjangnya yaitu 16,43 cm x 16,43 cm.
- d. Dimensi ini direkomendasikan, namun perlu diberi perkuatan disekitar lubang untuk mereduksi kenaikan nilai tegangan, momen dan gaya geser. Perkuatan berupa pemasangan tulangan disekitar lubang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dewobroto, W. 2013. *Komputer Rekayasa Struktur dengan SAP 2000*. Jakarta : Lumina Press
- Lisantono, A. Wigroho Haryanto, Y. 2006. *Pengaruh Dimensi Bukaannya Terhadap Kuat Lentur dan Geser Balok Beton Bertulang dengan Bukaannya Ganda*. Jurnal Teknik Sipil Volume 8 No. 1, Oktober 2007 : 37 – 52
- Lisantono, A. Wigroho Haryanto, Y. 2006. *Pengaruh Lokasi Bukaannya Terhadap Kapasitas Lentur dan Geser Balok Beton Bertulang*. Jurnal Teknik Sipil Volume 6 No. 2, April 2006 : 105 – 115
- Pangestuti Endah, K. Effeni Mahmud, K. 2010. *Perilaku Lentur Balok-L Beton Bertulang Berlubang ditinjau Secara Eksperimen dan Analisis Numerik Memakai Software Gid-Atena*. Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan Nomor 2 Volume 12 – Juli 2010, Hal : 121-130.
- Schodek Daniel, L. 1998. *Struktur*. Bandung : PT. Refika Pratama
- Timoshenko Stephen ,P. Gere James, M. 1996. *Mekanika Bahan Jilid 1 Edisi Keempat*. Jakarta : Erlangga
- Timoshenko Stephen ,P. Gere James, M. 1996. *Mekanika Bahan Jilid 2 Edisi Keempat*. Jakarta : Erlangga
- Timoshenko Stephen ,P. Goodier, J.N. 1993. *Teori Elastisitas*. Jakarta : Erlangga.

