

## PENGARUH BENTUK BUKAAN TERHADAP KEKUATAN DAN GETARAN BALOK

Sunardi<sup>1,\*</sup>, Erny Listijorini<sup>2</sup>, Raimundus Sandro<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,  
Jl. Jenderal Sudirman KM 03 Cilegon 42435

\*E-mail: [sunardi@untirta.ac.id](mailto:sunardi@untirta.ac.id)

Diterima: 16-10-2018

Direvisi: 19-10-2018

Disetujui: 01-12-2018

### ABSTRAK

Balok banyak digunakan dalam struktur bangunan dan mekanikal. Karakteristik balok harus mampu menjawab persoalan di lapangan. Beberapa tahun terakhir, dilakukan rekayasa untuk memperoleh kompromi antara kekakuan dan bobot balok, artinya kekakuan meningkat tetapi bobot tetap ringan. Desain balok dibuat memiliki bukaan yang dapat menurunkan bobotnya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen dan simulasi FEM. Bentuk bukaan pada balok berupa lingkaran, persegi dan belah ketupat dengan mempertahankan bobot balok tetap sama. Pengujian lentur balok yang digunakan adalah metode three point bending dengan output tegangan dan defleksi. Output pengujian getaran adalah frekuensi dan konstanta redaman. Untuk menghitung konstanta redaman digunakan metode *logarithmic decrement method*. Dari hasil penelitian diketahui bahwa dimensi dan geometris bukaan balok memiliki pengaruh terhadap kekuatan dan perilaku getarannya. Bukaan balok dengan bentuk lingkaran memiliki tegangan dan defleksi paling kecil dalam setiap kondisi pembebanan. Frekuensi dan konstanta redaman balok tertinggi terjadi pada bukaan belah ketupat, masing-masing 1.681 Hz dan 84,88 kg/s.

**Kata kunci:** dimensi, bentuk, sel, kekuatan, getaran, redaman

### ABSTRACT

*Beam is widely used for building and mechanical structure. The beam characteristics must be able to answer the problem in field. In recent years, beam was made which compromised between stiffness and weight of beam. The beam has high stiffness but remains light. Beam was designed with opening (cellular) that can reduce its weight. The method used in this research was experimental and simulation with FEM. Geometric of cellular in this beam is a circle, square and rhombus by maintaining the same beam weight. The bending testing used is three-point bending method which is indicated stress and deflection. Output of vibration testing is frequency and damping constant. Damping constant is calculated by logarithmic decrement method. Research data show that dimension and geometric of beam cellular affect the strength and behavior of vibration significantly. Circular opening have the smallest stress and deflection in all conditions. The highest frequency and damping constant occur in rhombic opening 1.681 Hz and 84,88 kg/s respectively.*

**Keywords:** dimension, geometric, cellular, strength, frequency, damping

### PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin maju menuntut seorang insinyur harus mampu mendesain sebuah struktur yang kompleks. Penggunaan profil baja pada struktur bangunan bertingkat

yang terdiri dari balok dan girder akan menyulitkan pemasangan pipa dan ducting. Hal ini disebabkan oleh struktur baja tersebut berupa struktur padat. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dikembangkan struktur baja dengan sistem bukaan.

Ada beberapa keuntungan struktur baja dengan bukaan antara lain memudahkan pelayanan dan pemeliharaan instalasi secara berkala dalam jangka waktu yang lama. Ada beberapa jenis dari balok baja dengan bukaan di bagian badan profil baja yaitu *castellated beams* dengan bukaan *hexagonal* dan *cellular beam* dengan bukaan lingkaran, *beam* dengan bukaan bujur sangkar, belah ketupat dan *sinusoidal beam*.

Pada balok baja dengan bukaan pada bagian profil tentu memiliki distribusi tegangan dan perilaku getaran yang berbeda. Penggunaan balok baja dengan berbagai jenis bukaan mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Pada tulisan ini akan dibahas perilaku mekanis dan getaran pada balok yang memiliki bukaan berbentuk lingkaran, bujur sangkar dan belah ketupat serta perilaku getarannya. Pembahasan masalah ini berdasarkan data eksperimental dan simulasi *finite element method* (FEM).

*Castellated beam* atau *cellular beam* menjadi pilihan saat ini karena memiliki tingkat kekakuan yang lebih tinggi dengan bobot balok yang sama. Kekakuan balok dipengaruhi oleh kedalaman balok, karena kekakuan berkaitan langsung dengan momen inersia penampang [1,2]. Sunardi telah melakukan penelitian tentang pengaruh jarak antar sel terhadap kekuatan dan karakteristik getaran yang ditimbulkannya. Dari riset ini diketahui bahwa semakin dekat jarak antar sel maka kekakuan balok akan menurun. Bentuk bukaan balok yang berbentuk lingkaran memiliki konsentrasi tegangan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan bentuk belah ketupat dan persegi [3].

Bukaan atau lubang yang terdapat dalam material akan menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan. Arshadnejad<sup>[4]</sup> telah melakukan penelitian tentang pengaruh jarak spasi dan diameter terhadap distribusi konsentrasi tegangan dan faktor konsentrasi tegangan. Dari riset ini diketahui bahwa distribusi konsentrasi tegangan akan berkurang seiring semakin jauh dari pusat lingkaran. Dengan menggunakan *finite element analysis* (FEA) dapat ditentukan faktor konsentrasi tegangan antara dua lingkaran yang bersebelahan [4,5]. Faktor konsentrasi

tegangan merupakan fungsi rasio diameter lubang dan lebar balok. Semakin besar rasio  $d/w$  maka semakin kecil faktor konsentrasi tegangannya. Lubang dengan diameter yang mendekati lebar balok maka faktor konsentrasi tegangan mendekati nilai 2, [6].

Dimensi bukaan sel memiliki pengaruh terhadap kekuatan balok. Semakin besar diameter bukaan pada balok maka tegangan dan defleksi akan meningkat [7]. Hal ini mengindikasikan bahwa pengurangan volume balok menurunkan kekuatannya karena luasan yang menahan beban mengalami pengurangan. Dengan demikian maka tegangan yang terjadi menjadi besar.

## METODE PENELITIAN

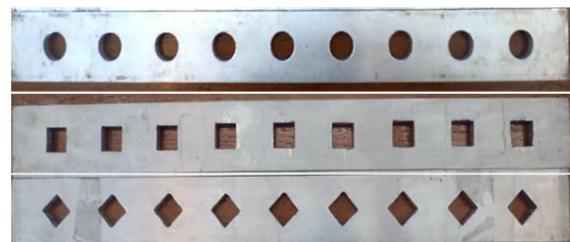
Penelitian ini menggunakan metode ekperimental simulasi FEM. Data yang diperoleh dari hasil pengujian dan simulasi kemudian diolah dan dianalisis.

### Material

Bahan yang digunakan dalam riset ini adalah aluminium Al6063 dengan paduan utama magnesium dan silicon. Kadar aluminium sebesar 95,85-98,56%, modulus elastisitas 69 GPa dan densitas 2,70 g/cm<sup>3</sup>.

### Preparasi Sampel

Ukuran sampel adalah 480 x 50 x 10 mm sebanyak 6 buah dihaluskan dengan amplas agar untuk menghindari initial cracking saat pengujian lentur.



**Gambar 1.** Bentuk bukaan balok (a) lingkaran, C, (b) persegi, S dan (c) belah ketupat, R.

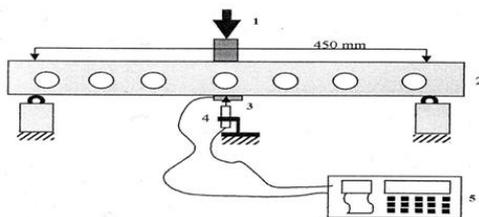
Setiap batang balok diberikan bukaan berupa lingkaran, persegi dan belah ketupat dengan dimensi yang berbeda-beda. Pengurangan berat balok dipertahankan sama pada semua bukaan. Data pengujian yang diperoleh dalam riset ini adalah tegangan,

defleksi, frekuensi dan konstanta damping balok.

### Persiapan Pengujian

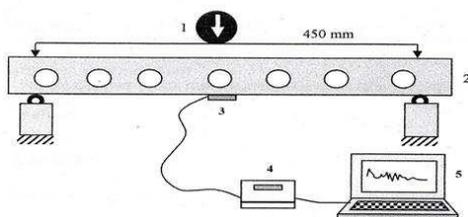
Set up peralatan yang digunakan untuk pengujian lentur dengan menggunakan metode three point bending. Detail peralatan yang digunakan antara lain: load cell, strain gauge, displacement transducer dan data logger yang disusun seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Dari pengujian ini diperoleh data tegangan, regangan dan defleksi. Sedangkan dari pengujian getaran diperoleh frekuensi dan konstanta redaman.



Ket: (1) load cell, (2) balok uji, (3) strain gauge, (4) displacement transducer, (5) data logger

Gambar 2. Set up peralatan uji bending



Ket: (1) beban, (2) balok uji, (3) strain gauge, (4) dynamic strain recorder, (5) laptop

Gambar 3. Set up peralatan uji getaran



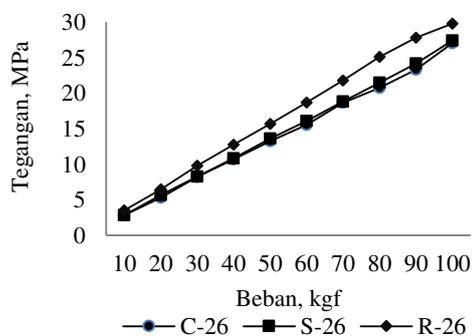
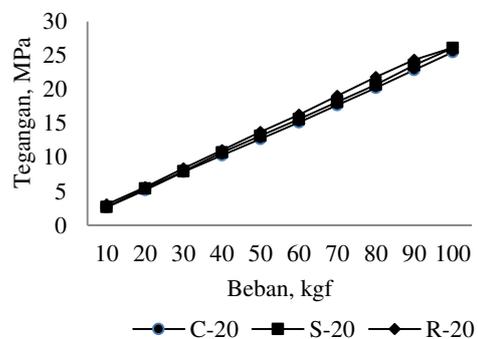
Gambar 4. Pemasangan strain gauge pada balok

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Korelasi antara Bentuk Bukaannya dan Kekuatan Lentur Balok

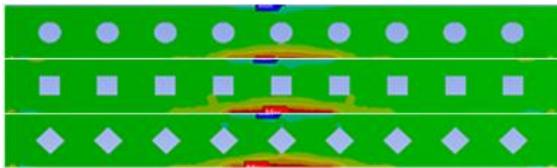
Tegangan balok sangat dipengaruhi oleh dimensi maupun geometris bukaan baloknya. Konsentrasi tegangan pada balok dapat disebabkan oleh perubahan dimensi maupun bentuk bukaan balok. Diskontinuitas balok mengakibatkan terjadinya distribusi tegangan yang tidak merata sepanjang balok. Tegangan pada daerah diskontinuitas lebih tinggi daripada tegangan rata-rata balok.

Dari riset ini juga diketahui bahwa geometris bukaan balok memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan lentur dan getarannya. Bukaan yang berbentuk belah ketupat memiliki kekuatan lentur terendah jika dibandingkan dengan bukaan persegi ataupun lingkaran. Penurunan kekuatan lentur yang cukup besar pada bukaan belah ketupat disebabkan konsentrasi tegangan yang terpusat di sudut bukaan dan jarak yang terpendek dengan sisi luar balok (Gambar 5). Kondisi ini tentu akan memperlemah kekuatan balok.



Gambar 5. Korelasi antara tegangan dan bentuk bukaan balok (a) 20 mm, (b) 26 mm

Dari berbagai bukaan balok baik pada bukaan dimensi 20 mm dan 26 mm memiliki fenomena yang sama yaitu semakin besar beban yang diberikan maka semakin tinggi tegangan yang dialami oleh balok. Dari data ini juga diketahui bahwa rata-rata penurunan kekuatan balok pada bukaan lingkaran sebesar 4,26%, persegi 3,73% dan belah ketupat sebesar 15,15%. Penurunan kekuatan pada bukaan balok belah ketupat yang sangat tinggi memberikan petunjuk bahwa pusat konsentrasi tegangan yang mendekati titik terluar balok sangat berbahaya.

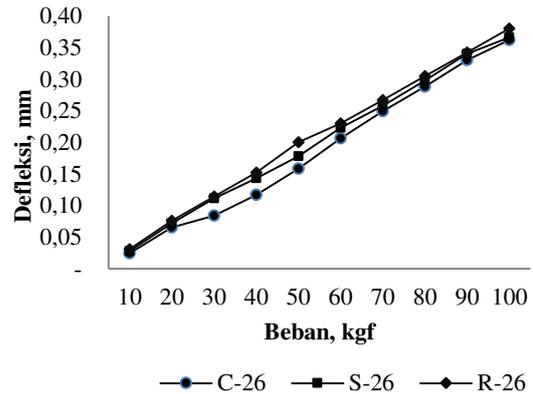
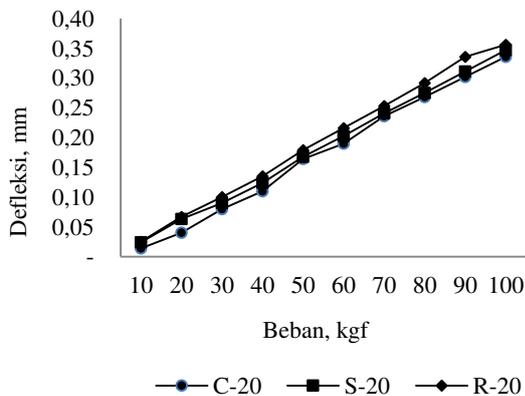


**Gambar 6.** Distribusi konsentrasi tegangan pada berbagai bukaan balok

### Korelasi antara Bentuk Bukaan Balok dan Defleksi

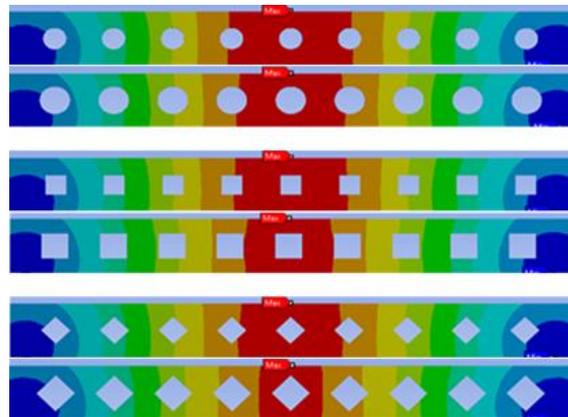
Defleksi merupakan indikasi kekakuan balok. Artinya semakin besar nilai defleksi balok maka kekakuannya semakin rendah. Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai defleksi sebanding dengan beban yang diterima balok. Semakin besar beban pada balok maka defleksi yang terjadi juga semakin besar. Kondisi ini hanya berlaku selama batas elastisitas belum terlampaui.

Defleksi balok terbesar terjadi pada bukaan belah ketupat disusul persegi dan lingkaran. Nilai defleksi ini sebanding dengan tegangan balok seperti yang sudah dibahas sebelumnya.



**Gambar 7.** Korelasi antara defleksi dan bentuk bukaan balok (a) dimensi 20mm, (b) 26 mm

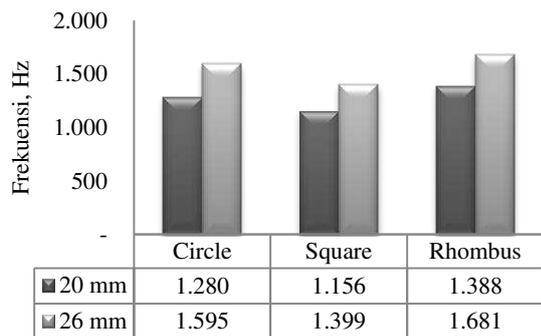
Yang menarik adalah persentase perubahan defleksi yang disebabkan oleh dimensinya baik pada bukaan balok berbentuk lingkaran, persegi dan belah ketupat. Pada bukaan berbentuk lingkaran dengan diameter 20 mm menjadi 26 mm menunjukkan perubahan terbesar rata-rata 18,00%, persegi 11,56% dan belah ketupat 10,08%. Hal ini menunjukkan bahwa ketika pembebanan terjadi, bukaan berbentuk lingkaran mampu mendistribusikan gaya relatif merata ke sepanjang balok.



**Gambar 8.** Perubahan besaran defleksi balok pada berbagai dimensi dan bentuk bukaan balok.

### Karakteristik Getaran Balok

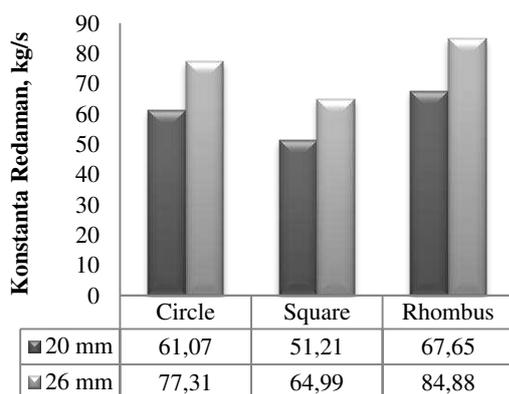
Frekuensi berkaitan dengan kekakuan dan massa balok. Nilai frekuensi getaran balok meningkat seiring dengan kekakuan dan berbanding terbalik terhadap berat balok. Gambar 8 menunjukkan nilai frekuensi balok pada dimensi bukaan 20 dan 26 mm.



**Gambar 9.** Korelasi antara bentuk dan bukaan dan frekuensi balok.

Frekuensi alami dan konstanta redaman merupakan karakter penting sebuah balok. Dalam aplikasinya, balok akan mengalami berbagai benturan ataupun guncangan dari gaya luar. Untuk itu diperlukan kemampuan untuk segera meredam getaran tersebut agar tidak menimbulkan kerusakan pada komponen lain karena pembeban dinamis yang terjadi.

Frekuensi balok tertinggi terjadi pada bukaan belah ketupat. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi tegangan yang terjadi pada bukaan ini paling besar. Seperti yang diketahui bahwa frekuensi alami balok berbanding lurus dengan kekakuan balok. Sedangkan pada tinjauan tegangan sebelumnya menunjukkan bahwa bukaan dengan bentuk belah ketupat memiliki tegangan terbesar.



**Gambar 10.** Korelasi antara bentuk dan bukaan dan konstanta redaman

Perubahan ukuran bukaan balok juga berpengaruh terhadap frekuensinya. Semakin besar ukuran bukaan balok maka semakin tinggi pula frekuensinya. Hal ini disebabkan oleh semakin tingginya tegangan yang dialami

balok yang memiliki bukaan semakin besar ketika terjadi pembebanan.

Konstanta redaman menunjukkan respon material saat menerima eksitasi gaya luar yang bekerja pada balok. Dari Gambar 9 dapat diketahui jika balok dengan bukaan berupa belah ketupat memiliki konstanta redaman yang tertinggi. Konstanta redaman pada bukaan balok ketupat pun juga akan meningkat seiring dengan semakin besarnya luasan bukaannya.

Besaran konstanta redaman meningkat seiring dengan tegangan balok. Tegangan balok yang tinggi pada bukaan belah ketupat menunjukkan adanya konsentrasi tegangan yang tinggi pula sehingga berpengaruh terhadap konstanta redaman yang terjadi.

## KESIMPULAN

Dari uraian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Bentuk dan dimensi bukaan balok sangat berpengaruh terhadap kekuatan, kekakuan dan perilaku getaran balok.
- Bukaan pada balok dapat menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan yang berpengaruh terhadap kekuatan dan karakteristik getarannya.
- Bukaan yang berbentuk lingkaran memiliki perilaku mekanis dan getaran yang lebih baik jika dibandingkan dengan persegi ataupun belah ketupat.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai dari pagu anggaran Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada LPPM Untirta dan Fakultas Teknik Untirta yang telah memfasilitasi penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Syaikh and H. R. Aher, "Structural Analysis of Castellated Beam," *Int. J. Recent Technol. Mech. Electr. Eng.*, vol. 2, no. 6, pp. 81–84, 2015.
- [2] S. Shaikh and P. B. Autade, "Structural Analysis and Design of Castellated Beam in Cantilever Action," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 8, pp. 163–170, 2016.

- [3] Sunardi, E. Listijorini, and M. Sahroni, "Pengaruh Jarak Sel Bukaan Balok Terhadap Kekuatan Material dan Karakteristik Getaran," *Mach. J. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 8–12, 2016.
- [4] S. Arshadnejad, K. Goshtasbi, and J. Aghazadeh, "*Stress Concentration Analysis Between Two Neighboring Circular Holes Under Internal Pressure of a Non-explosive Expansion Material*," *J. Earth Sci. Appl. Res. Cent. Hacettepe Univ.*, vol. 30, no. 3, pp. 259–270, 2009.
- [5] N. K. Jain, "Analysis of Stress Concentration and Deflection in Isotropic and Orthotropic Rectangular Plates with Central Circular Hole under Transverse Static Loading," *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 12, pp. 1513–1519, 2009.
- [6] A.M. Wahl, R. Beeuwkes, and E. Pittsburgh, "Stress Concentration Produced by Holes and Notches," *Trans. Am. Soc. Mech. Eng.*
- [7] Sunardi, I. Setiawan, and Sofanudin, "Karakteristik Kekuatan Cellular Beam Dengan Variasi Diameter Sel," in *Seminar Nasional Mesin dan Teknologi Kejuruan (SNMTK)*, 2013, pp. 73–78.