

PENGARUH JARAK SEL BUKAAN BALOK TERHADAP KEKUATAN MATERIAL DAN KARAKTERISTIK GETARAN

Sunardi, Emy Listijorini, Muhamad Sahroni

Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jendral Sudirman KM 03, Cilegon 42435

Email: parikesit_ka@yahoo.co.id

Abstrak

Balok banyak digunakan dalam aplikasi struktur baik mekanikal maupun sipil. Dalam prakteknya balok yang digunakan di lapangan tidaklah homogen, sehingga akan menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada bagian-bagian tertentu. Dampak lanjutannya adalah terjadi perubahan kekuatan, kekakuan dan respon getaran ketika balok memperoleh eksitasi dari luar. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 2 metode, yaitu eksperimen dan FEM. Karakteristik balok yang dipelajari adalah defleksi, tegangan, frekuensi dan konstanta redaman. Pada penelitian ini digunakan aluminum AL 6063 yang diberikan sel berbentuk lingkaran, persegi dan belah ketupat. Jarak antar sel masing-masing 40mm dan 60mm. Dari hasil pengujian diperoleh nilai defleksi dan tegangan terkecil terjadi pada balok dengan sel berbentuk lingkaran. Semakin jauh jarak antar sel maka tegangan, defleksi, frekuensi dan konstanta redamannya juga semakin kecil.

Kata kunci: balok bukaan, aluminum, defleksi, konsentrasi tegangan, karakteristik getaran

Abstract

Beams are widely used for structure in mechanical and civil engineering. In practice, beams used in the field are not homogenous, it will cause stress concentration on certain part. A further effect is change of strength, stiffness and vibration characteristic when external excitation work on beam. This research conducted by using 2 methods: experiment and finite element methods. Beam characteristics studied were deflection, stress, frequency and damping constant. Aluminum AL 6063 used in this research is given a cell of circle, square and rhombus. The distance of each cell is 40 mm and 60 mm, respectively. The result showed that the smallest deflection and stress value owned by the ring-shape cell. The distance of each cell increase, deflection, stress, frequency and damping ratio decrease.

Keywords: cellular beam, aluminum, deflection, stress concentration, vibration characteristics

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi menuntut tanggung jawab seorang insinyur untuk dapat mendesain struktur berdasarkan prinsip keamanan dan kenyamanan dengan tetap memperhatikan aspek fungsional material yang digunakan. Penggunaan profil baja pada struktur bangunan bertingkat tinggi dimana bagian-bagian struktur baja berupa balok atau *girder* pejal dapat menyulitkan pemasangan pipa dan *ducting*. Untuk itulah para insinyur mengembangkan

struktur baja dengan sel-sel bukaan sehingga memudahkan pelayanan dan pemeliharaan instalasi secara berkala.

Kekuatan dan deformasi balok dengan bukaan dipengaruhi oleh momen dan gaya geser yang bekerja. Kekuatan dan deformasi akan berpengaruh terhadap karakteristik getaran yang diakibatkan oleh sumber-sumber eksitasi. Beberapa jenis balok baja dengan bukaan adalah *castellated beams* yang berupa bukaan *hexagonal*, *cellular beam* dengan bukaan lingkaran, *beam* dengan bukaan bujur

sangkar dan belah ketupat. Selain itu juga ada *beam sinusoidal* serta gabungan antara bukaan yang satu dengan yang lain.

Penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh jarak antar sel dan bentuk sel balok yang berbentuk lingkaran, bujur sangkar dan belah ketupat terhadap kekuatan, regangan, defleksi dan karakteristik getaran. Tinjauan ini dilakukan melalui eksperimen dan simulasi FEM.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Perilaku Balok dan Karakteristik Tegangan

Para insinyur dituntut untuk merancang sebuah struktur yang kuat dan ringan serta kemudahan dalam layanan dan pemeliharaan instalasinya. Untuk menjawab tuntutan desain tersebut, maka dirancanglah struktur baja yang memiliki sel-sel. Dengan adanya bukaan tersebut diharapkan dapat mengurangi bobot konstruksi dan meningkatkan kekakuan sehingga memiliki respon getaran yang baik. Bukaan dengan bentuk yang simetris seperti lingkaran dan bujur sangkar biasanya menjadi pilihan dikarenakan proses pembentukan bukaan lebih mudah. Balok dengan bukaan banyak digunakan sebagai struktur bangunan, plat lantai dan kolom.

Balok merupakan material nonlinear yang dapat dianalisis melalui finite element methods (FEM). FEM merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menghitung gaya-gaya yang terjadi dalam komponen struktur. Gambar 1 menunjukkan pemakaian balok sel dalam bidang sipil.



Gambar 1a. Balok dengan bukaan

Balok yang digunakan dalam sebuah konstruksi bukan material isotropic, tetapi memiliki dimensi yang berubah di sepanjang bodinya. Perubahan dimensi, keberadaan alur tertentu, celah atau lubang dapat meningkatkan konsentrasi tegangan. Hal ini dapat menjadi penyebab terjadinya retakan awal dan jika hal ini terjadi secara terus-

menerus dan berfluktuasi, maka balok akan mengalami kegagalan. Beberapa hal yang mempengaruhi perilaku mekanis dan vibrasi pada balok, antara lain: (1) kekakuan balok, (2) beban yang bekerja, (3) jenis tumpuan dan (4) jenis beban yang bekerja pada balok.

Tipe tumpuan balok akan berpengaruh terhadap kekakuan dan karakteristik getaran yang dihasilkan. Bentuk potongan (bukaan), ketajaman bekas potongan dan posisi potongan selalu berkorelasi terhadap pola konsentrasi tegangan. Woo dan Na melakukan penelitian terhadap balok atau pelat yang memiliki konsentrasi tegangan yang berbentuk lingkaran dan ternyata memiliki tegangan maksimum 60.26 MPa dan faktor konsentrasi tegangan 3.02 pada $r/R = 1$. Rasio r/R merupakan pernyataan ketajaman sudut potongan. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tingkat ketajaman potongan semakin tinggi pula konsentrasi tegangan yang terjadi^[1].

Tipe tumpuan balok atau pelat orthotropic juga berpengaruh terhadap perilaku material. Sebuah riset menunjukkan bahwa terdapat perbedaan konsentrasi tegangan maksimum terjadi pada batas lubang lingkaran pada pelat yang ditumpu sederhana dan dijepit dua sisinya^[2]. Semakin dekat jarak antar lubang sel, maka tegangannya juga semakin meningkat baik tegangan radial maupun tangensialnya^[3].

Investigasi tentang konsentrasi tegangan dimana sebuah penguat dimasukkan di tengah-tengah balok sandwich. Dari riset ini diketahui bahwa kegagalan balok bermula dari inti baloknya dan bukan dari permukaannya^[4].

2. Getaran Balok

Untuk menentukan besaran konstanta redaman dapat digunakan metode pengurangan logaritma yang dilakukan dengan mengukur besar pengurangan amplitudo dari gerak tersebut. Pengurangan logaritmis (δ) didefinisikan sebagai logaritma natural dari rasio dua puncak amplitudo yang berurutan y_1 dan y_2 dari getaran bebas dan dinyatakan secara matematik sebagai berikut:

$$\delta = \ln \left[\frac{x_n}{x_{n+1}} \right] \dots \dots \dots (1)$$

Untuk harga kecil dari rasio redaman, dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{2\pi^2 + \delta^2}} \dots \dots \dots (2)$$

METODE PENELITIAN

1. Material uji

Penelitian ini menggunakan material aluminum dengan alasan mudah dalam pembuatan sampelnya dengan pertimbangan respon getaran baja dan aluminum identik jika memiliki dimensi yang sama dalam kondisi free-free [5].



Gambar 1b. Balok aluminum dengan jarak antar sel bukaan 40 mm dan 60 mm

Aluminum yang digunakan adalah tipe Al 6061 dengan kadar aluminum 95.85 – 98.56% dengan paduan utama magnesium dan silikon, nilai $E = 69 \text{ GPa}$, $\rho = 2.70 \text{ g/cm}^3$, kekuatan luluh 275 MPa dan kekuatan tarik sebesar 310 MPa.

Aluminum dengan panjang 480mm, tinggi 50mm, dan tebal 10mm diberikan profil bukaan (sel) berbentuk lingkaran, persegi, dan belah ketupat. Jarak antar lubang sel bukaan berjarak 40 dan 60 mm.

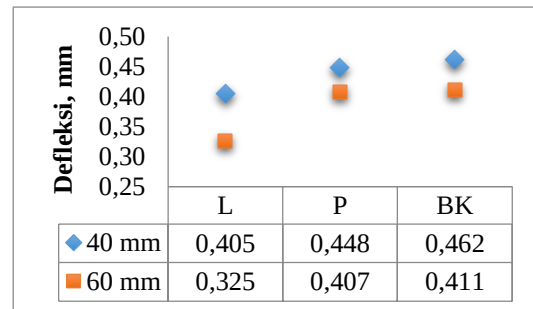
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hubungan antara Jarak Sel Bukaan Balok dan Defleksi

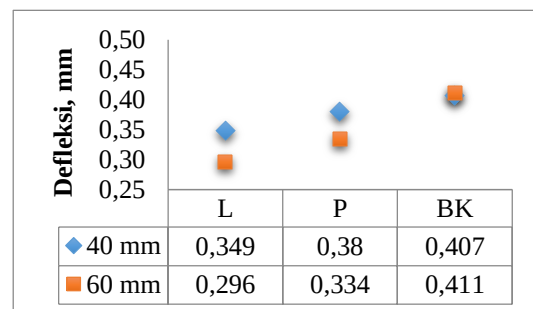
Sebuah material yang memperoleh pembebanan tertentu pasti akan mengalami tegangan dan regangan. Dari eksperimen dan FEM menunjukkan bahwa sel yang berbentuk lingkaran memiliki defleksi yang paling kecil, disusul persegi dan belah ketupat. Hal ini disebabkan oleh distribusi tegangan pada sel yang berbentuk lingkaran relatif merata di sekeliling sel.

Kondisi ini berbeda dengan sel yang berupa persegi ataupun belah ketupat yang memiliki sudut-sudut sel. Sudut-sudut sel ini akan mengalami konsentrasi tegangan. Artinya distribusi tegangan di

sekitar sel sendiri tidak merata. Dampaknya adalah kekakuan balok akan mengalami penurunan.



(a)



(b)

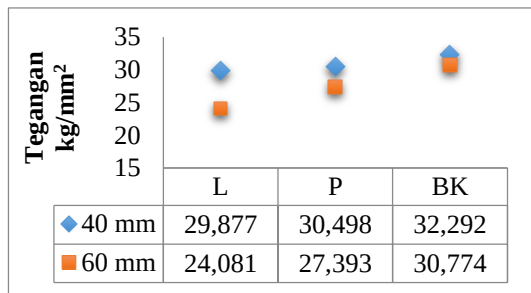
Gambar 2. Korelasi jarak antar sel bukaan balok dengan defleksinya, (a) eksperimen dan (b) FEM

Jarak antar sel bukaan juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan dan getaran balok. Dari Gambar 2 diketahui bahwa jarak antar sel yang lebih pendek memiliki nilai defleksi yang lebih besar. Hal ini disebabkan kekuatan dan kekakuan balok akan berkurang karena hanya ada sedikit luasan balok yang menahan beban tersebut. Dengan demikian balok menjadi lebih mudah terdeformasi.

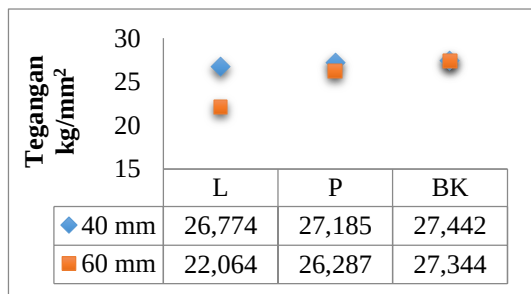
2. Hubungan antara Jarak Sel Bukaan Balok dan Tegangan

Bentuk sel balok berpengaruh langsung terhadap besaran tegangan. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa bukaan yang berbentuk lingkaran memiliki tegangan balok yang paling kecil. Tinjauan dari eksperimen dan pemakaian FEM menunjukkan fenomena yang sama.

Diskontinuitas balok mempengaruhi distribusi tegangan yang terjadi di sekitar bukaan. Bukaan sel yang berupa lingkaran memiliki distribusi tegangan yang sama di sekeliling bukaan.

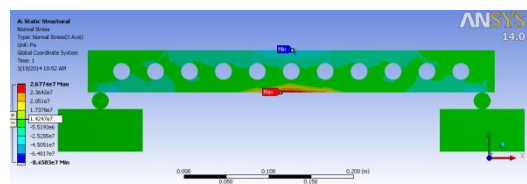


(a)

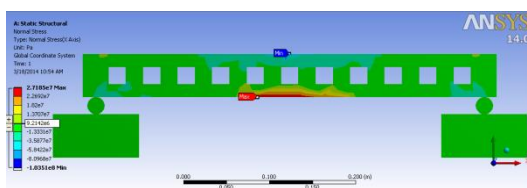


(b)

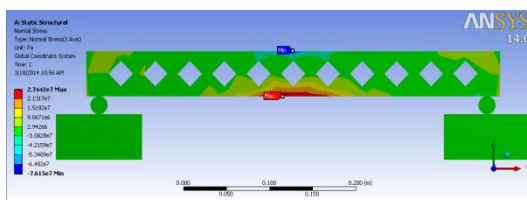
Gambar 3. Korelasi jarak antar sel bukaan balok dengan tegangan (a) eksperimen dan (b) FEM



(a)



(b)



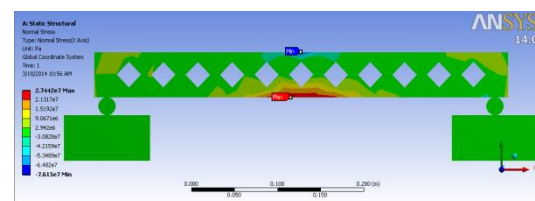
(c)

Gambar 4. Distribusi tegangan pada balok dengan sel bukaan (a) lingkaran, (b) persegi dan (c) belah ketupat

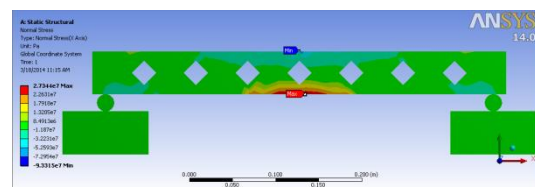
Dari hasil pengujian dan FEM juga menunjukkan hal yang sama pada defleksi. Nilai tegangan ini identik dengan defleksi pada balok. Demikian juga semakin dekat jarak sel bukaan maka semakin besar tegangan yang dialami pada balok. Pernyataan ini diperkuat dengan simulasi FEM di bawah ini.

Dari Gambar 4 terlihat jelas bahwa distribusi tegangan pada setiap sel bukaan balok sangat berbeda. Balok dengan sel berupa lingkaran memiliki distribusi tegangan yang relatif kecil dan memiliki jarak yang lebih jauh dari sel, sedangkan pada balok dengan sel persegi dan belah ketupat menunjukkan tegangan yang terjadi terdistribusi pada sel terutama pada sudut sel.

Hal ini menjadi indikasi bahwa balok dengan sel belah ketupat memiliki potensi mengalami kegagalan lebih besar dibandingkan dengan sel yang lain. Jika balok ini memperoleh pembebanan berulang dan terus menerus maka balok dengan sel belah ketupat akan mengalami kegagalan paling awal.



(a)

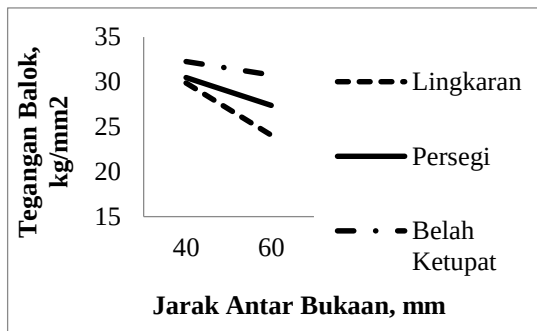


(b)

Gambar 5. Distribusi tegangan pada balok pada jarak sel (a) 40 mm dan (b) 60 mm

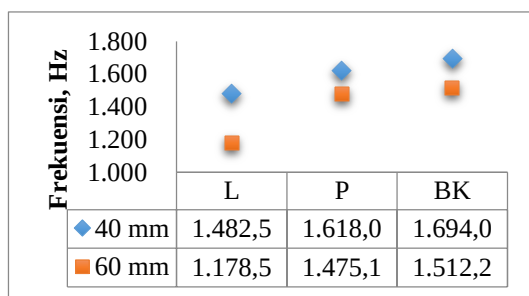
3. Hubungan Jarak Antar Sel Bukaan Lubang dengan Karakteristik Getaran

Balok yang memiliki dimensi yang tidak seragam disebut sebagai balok anisotropik, artinya perilaku mekanis material akan berbeda antar bagian balok. Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin dekat jarak sel bukaan balok maka semakin besar tegangan yang terjadi. Hal ini mengindikasikan bahwa kekuatan balok akan mengalami penurunan jika memiliki bukaan yang semakin dekat. Penurunan kekuatan ini disebabkan oleh berkurangnya luasan balok yang menahan pembebanan.

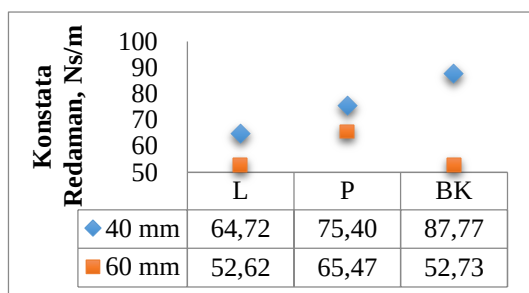


Gambar 6. Hubungan antara jarak bukaan sel dan kekuatan bahan

Hampir seluruh balok dengan bukaan yang beragam menunjukkan perilaku yang sama, yakni mengalami peningkatan tegangan seiring dengan semakin dekatnya jarak antar bukaan. Dari gambar juga terlihat bahwa kekuatan terbaik dimiliki oleh balok dengan bukaan berupa lingkaran.



(a)



(b)

Gambar 7. Korelasi bentuk sel bukaan balok terhadap frekuensi dan konstanta redaman

Jika diamati dari Gambar 7 terlihat bahwa sudut sel pada bukaan balok memiliki konsentrasi tegangan yang lebih besar. Dari Gambar 4 dan 5 menunjukkan bahwa bentuk bukaan balok berpengaruh terhadap distribusi tegangan. Hal ini akan berimbas pada perubahan perilaku getaran dan redaman.

Berdasarkan nilai frekuensinya, balok dengan belah ketupat dengan jarak bukaan 40 mm memiliki nilai sebesar 1694 Hz dan nilai konstanta redaman sebesar 87,77 N.s/m. Kondisi ini menjadi sebab balok tersebut memiliki kemampuan meredam yang baik dibandingkan dengan batang lainnya.

KESIMPULAN

Diskontinuitas balok berpengaruh terhadap karakteristik mekanikal maupun vibrasi pada balok. Diskontinuitas ini akan menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan. Dari riset yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin dekat jarak bukaan antar sel maka kekakuan balok akan menurun. Hal ini akan diikuti oleh perubahan besaran tegangan, defleksi dan karakteristik getarannya.
2. Bukaan sel yang berupa lingkaran memiliki konsentrasi tegangan yang lebih kecil dan distribusi tegangannya lebih merata.
3. Karakteristik getaran balok sangat berkaitan erat dengan jarak dan bentuk sel pada balok.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Woo and W.B. Na. Effect of Cutout Orientation on Stress Concentration of Perforated Plates with Various Cutouts and Bluntness, *International Journal of Ocean System Engineering* 1(2), pp. 95-101, (2011).
- [2] N.K. Jain. Analysis of Stress Concentration and Deflection in Isotropic and Orthotropic Rectangular Plates with Central Circular Hole under Transverse Static Loading. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 36, pp. 446-452, (2009).
- [3] Arshadnejad S., Goshtasbi K., dan Aghazadeh J. Stress Concentration Analysis Between Two Neighboring Circular Holes Under Internal Pressure of a Non-Explosive Expansion Material. *Yerbililemri* 30(3), pp. 259-270 (2009).
- [4] N.G. Tsouvalis and M.J. Kollarini. Experimental Investigation of Strain Concentrations Caused by Inserts in Sandwich Beams. *Journal Compilation* 44, pp. 317-326, (2008).
- [5] The Aluminum Association, *Aluminum for Automotive Body Sheet Panels*, (1998).