KARAKTERISTIK KEKUATAN CELLULAR BEAM DENGAN VARIASI DIAMETER SEL

Sunardi, Ipick Setiawan dan Sofanudin
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon
e-mail : parikesit_ka@yahoo.co.id

ABSTRACT

In construction, the characteristic of beam required are strength, stiffness and its weight. Those three variables had effect to mechanical behavior each other. In special case, a construction required light weight and high in strength and stiffness. Since 1987, cellular beam had been produced. This beam structure has different shape and dimension of cell. This profile has advantages, such as lightweight, ability to support the loading and easy to install the other part in this construction. This paper presents to discuss the effect of dimension of cell toward the performance of beam, such as stress, strain and deflection of beam. The beam used in this research is aluminum Al 6061 with the different circle of cell. The weight of cell is constant. Diameter of cell is 20, 26, 30 and 36 mm, respectively. The pitch of cell had been adjusted to cell diameter. To investigate the strength of beam carried out the experiment and FEM. The result of this experiment shows that the diameter of cell has effect to the strength and stiffness of beam. The tensile stress of beam is 42,6 MPa,43,5 MPa, 30,2 MPa and 28,2 MPa, respectively. Whereas the deflection of beam is 0,515 mm ,0,518 mm, 0,518 mm and 0,57 mm, respectively. The cell diameter of 30 mm is the potential choice for construction because of its strength and deflection.

Keyword: Cellular Beam, strength, deflection, Stress Concentration

ABSTRAK

Karakterisitk balok yang dibutuhkan dalam sebuah konstruksi adalah kekuatan, kekakuan dan bobotnya. Ketiga variabel tersebut saling mempengaruhi perilaku mekanisnya. Dalam kondisi tertentu diinginkan sebuah konstruksi memiliki bobot yang kecil, namun kekuatan dan kekakuan yang tinggi. Sejak tahun 1987, mulai diperkenalkan cellular beam. Struktur balok ini memiliki bentuk dan ukuran sel yang berbeda. Profil seperti ini memiliki banyak keuntungan, seperti bobotnya yang lebih ringan, kemampuan menahan beban yang lebih baik dan memudahkan pemasangan bagian-bagian lain di konstruksu tersebut. Dalam paper ini akan didiskusikan tentang pengaruh dimensi sel terhadap kekuatan balok, seperti tegangan, regangan dan defleksi selama pembebanan.Sebuah balok aluminum Al 6061 dibuat sel yang berbentuk lingkaran dengan ukuran yang berbeda-beda. Adapun bobot setiap balok dipertahankan tetap sama. Diameter sel berturut-turut adalah 20, 26, 30 dan 36 mm. Jarak spasi antar sel menyesuaikan dengan diameternya. Untuk mengetahui kekuatan balok dilakukan dengan sebuah eksperimen dan simulasi FEM. Pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa diameter sel memiliki pengaruh yang berbeda terhadap kekuatan dan kekakuan balok. Nilai tegangan balok berturut-turut adalah 42,6 MPa,43,5 MPa, 30,2 MPa dan 28,2 MPa. Sedangkan untuk defleksinya masing-masing 0,515 mm ,0,518 mm, 0,518 mm dan 0,57 mm. Diameter sel sebesar 30 mm memberikan alternatif yang paling masuk akal dari kekuatan dan besarnya defleksi balok.

Kata Kunci : Cellular Beam, Kekuatan, Defleksi, Konsentrasi Tegangan

1. PENDAHULUAN

Celluar beam merupakan struktur balok dengan profil istimewa yang memiliki bentuk unik dan nilai estetika. Kelebihan utama dari cellular beam adalah memiliki kekakuan dan kekuatan yang lebih besar pada volume yang sama. Dalam sebuah struktur atau konstruksi terkadang seorang insinyur harus mampu mempertemukan dua atau lebih keinginan yang saling bertentangan. Misalnya, sebuah balok diinginkan memiliki kekakuan dan kekuatan yang besar, sedangkan bobotnya seringan mungkin. Untuk itu diperlukan pemahaman mekanika kekuatan, respon getaran dan pemilihan material yang baik. Teknologi fabrikasi modern telah memproduksi *cellular beam* sebagai jawaban atas keinginan di atas. Dengan volume material yang sama, kekuatan dan kekakuan balok dapat ditingkatkan. Untuk mengurangi bobot balok dapat dengan mengurangi volumenya atau memilih material komposit.

Perencanaan struktur atau konstruksi yang kuat yang digunakan untuk bangunan bertingkat digunakan baja dengan profil padat. Ada kerugian dengan penggunaan baja profil seperti ini, yaitu menyulitkan pemasangan pipa atau sistem saluran pendingin udara *(ducting)* yang memerlukan kepuasan fungsional dan keindahan. Atas dasar itu, maka *celluar beam* ini semakin banyak digunakan oleh insinyur sipil.

Pada paper ini akan dipelajari perilaku balok yang memiliki area konsentrasi tegangan ketika ada gaya yang bekerja pada balok tersebut. Konsentrasi tegangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah berbentuk lingkaran dengan alasan kemudahan proses manufakturnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Balok (*beam*) adalah sebuah elemen struktur yang banyak digunakan dalam konstruksi mesin maupun bangunan. Tipe pembebanan pada balok biasanya berupa beban geser yang dihasilkan dari beban atau gaya yang bekerja tegak lurus dengan sumbu longitudinalnya. Gaya yang bekerja ini akan menimbulkan lenturan pada balok.

2.1. Perilaku Lentur Balok

Sebuah balok yang menerima beban di sepanjang balok akan menimbulkan terjadinya tegangan, regangan dan defleksi pada sepanjang balok. Formula yang digunakan untuk menentukan karakteristik balok adalah sebagai berikut:

a) Gaya geser di titik x:

$$x = \frac{d^3\delta}{dx^3} EI = V \quad (1)$$

b) Momen lentur di titik tertentu:

$$x = \frac{d^2\delta}{dx^2} EI = M \quad (2)$$

c) Slope di titik x:

$$x = \frac{d\delta}{dx} EI = \theta \quad (3)$$

d) Defleksi di titik x:

$$x = \delta \quad (4)$$

2.2. Konsentrasi Tegangan

Balok atau pelat cukup mudah untuk difabrikasi dan secara luas digunakan di bidang teknik. Pada kenyataannya, pelat bukan merupakan material yang isotropic. Balok yang mengalami perubahan dimensi di sepanjang bodinya, memiliki alur-alur tertentu atau lubang dapat menimbulkan terjadinya konsentrasi tegangan pada daerah-daerah tertentu. Daerah yang memiliki konsentrasi tegangan mengalami tegangan yang lebih besar dibandingkan di sisi yang lain. Kondisi demikian dapat menimbulkan retakan awal pada balok. Ketika tegangan yang bekerja pada balok terjadi secara terus-menerus dan berfluktuasi, maka retakan akan mengalami perambatan yang lebih cepat.

Faktor bentuk potongan, tingkat ketajaman bekas potongan dan posisi potongan memiliki pengaruh terhadap pola konsentrasi tegangan, tegangan von-Mises maksimum dan faktor konsentrasi tegangan. Potongan pada pelat yang berbentuk lingkaran memiliki tegangan maksimum 60,26 MPa dan faktor konsentrasi tegangan 3,02 pada r/R = 1. Perbandingan r/R adalah pernyataan ketajaman sudut potongan [1]. Sedangkan pada potongan yang berupa persegi panjang, tegangan tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Semakin tinggi tingkat ketajaman potongan semakin tinggi pula konsentrasi tegangan yang terjadi.

Pelat orthotropic yang memiliki lubang di tengah-tengahnya akan memiliki perilaku yang berbeda tergantung dengan jenis pengikatan tepi pelatnya. Konsentrasi tegangan maksimum terjadi pada batas lubang lingkaran pada pelat yang ditumpu sederhana dan pelat yang ditumpu jepit dua sisi dan dua sisi yang lain ditumpu sederhana. Sedangkan pada pelat yang dijepit pada keempat sisinya, konsentrasi tegangan terjadi pada dudukan pelatnya. Sebuah pelat yang memiliki jarak antar lubang yang semakin dekat, maka semakin besar tegangannya baik tegangan radial maupun tegangan tangensial [3].

Tsouvalis dan Kollarini melakukan investigasi tentang konsentrasi regangan dimana sebuah pengaku dimasukkan ke tengah-tengah balok sandwich. Dari riset ini dapat diperoleh informasi bahwa kegagalan balok dimulai dari inti balok [4]. Mode kegagalan tidak berkaitan dengan konsentrasi regangan pada permukaan balok sandwich.

2.2. Finite Elemen Mesin (FEM)

Cellular beam yang merupakan material ortotropik yang bisa diselesaikan melalui pendekatan FEM. Dengan menggunakan FEM daapat diketahui besarnya gaya dalam yang terjadi di sepanjang balok/struktur. FEM dikembangkan untuk deformasi linear yang kecil dengan matriks kekakuan konstan.

Balok merupakan sebuah batang yang dapat digunakan sebagai struktur tersendiri atau dikombinasikan untuk membentuk struktur portal bangunan di bidang teknik sipil dan dapat digunakan pada varisai beban secara luas dengan berbagai arah. Dalam penelitian ini, balok dianggap sebagai struktur 2D, maka digunakan suatu balok sederhana yang membentuk suatu balok 3D di bawah pengaruh gaya yang dipakai pada balok.

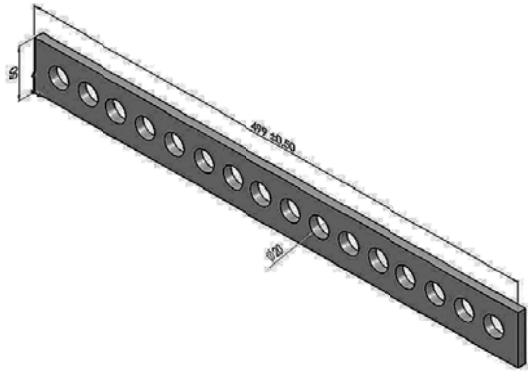
3. METODE PENELITIAN

3.1. Material uji

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium tipe Al 6061 dengan kadar aluminum 95,85 - 98,56% dan sebagai paduan utama digunakan magnesium dan silikon. Aluminum jenis ini telah memperoleh perlakuan panas hardening dengan nilai E = 69 GPa, ρ = 2.70 g/cm³, kekuatan luluh 275 Mpa dan kekuatan tarik sebesar 310 MPa. Aluminum Al 6061 merupakan material yang banyak digunakan untuk tujuan umum.

3.3. Pembentukan Spesimen Pengujian

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah Al6061 yang dibentuk menggunakan mesin milling menjadi bentuk balok dengan dimensi 500x50x8 mm.



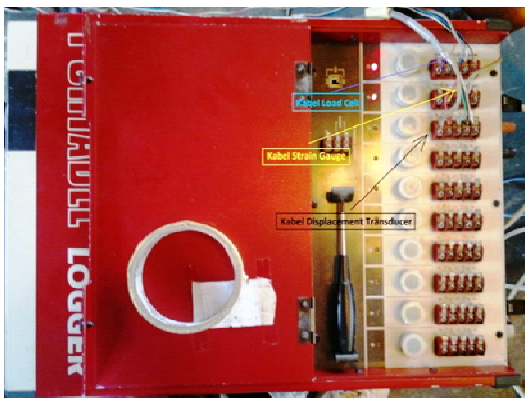
Gambar 1 Benda Uji

Pembentukan profil balok dilakukan dengan memberikan sel-sel berbentuk lingkaran yang memiliki diameter 20, 26, 30 dan 36 mm.

3.2. Peralatan Uji

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. *Displacement Transducer*
2. Mesin frais / milling
3. Mesin skrap
4. Load cell
5. Strain gauge
6. Portable data Bloger
7. *Turn buckle*

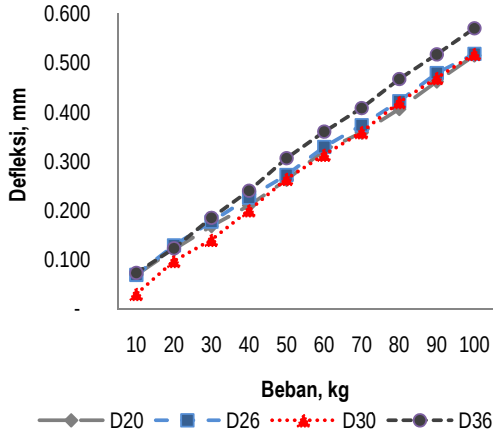


Gambar 2. Instalasi alat pengujian

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Hubungan Antara Diameter Sel dan Defleksi Balok

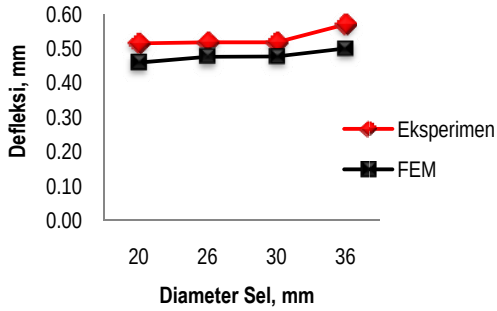
Sel-sel pada balok akan memiliki dampak serius terhadap kinerja balok. Adanya sel-sel ini akan menimbulkan konsentrasi tegangan pada tempat tersebut. Konsentrasi tegangan dapat menjadi pemicu terjadinya retakan awal balok, terlebih jika tegangan yang bekerja berupa pembebanan berulang dan berfluktuasi. Dari eksperimen yang dilakukan diperoleh data sebagai berikut:



Gambar 3. Grafik hubungan beban dan defleksi

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa besarnya defleksi berbanding lurus terhadap penambahan beban/gaya pada balok. Hal ini mengindikasikan bahwa defleksi yang terjadi masih di daerah elastic. Defleksi terbesar terjadi pada balok yang memiliki sel terbesar (36 mm), sedangkan terkecil pada balok dengan sel berdiameter 26 mm. Jika hanya dilihat dari besaran defleksi ini, maka dapat dipilih balok dengan sel 30 mm yang memiliki kekakuan tertinggi.

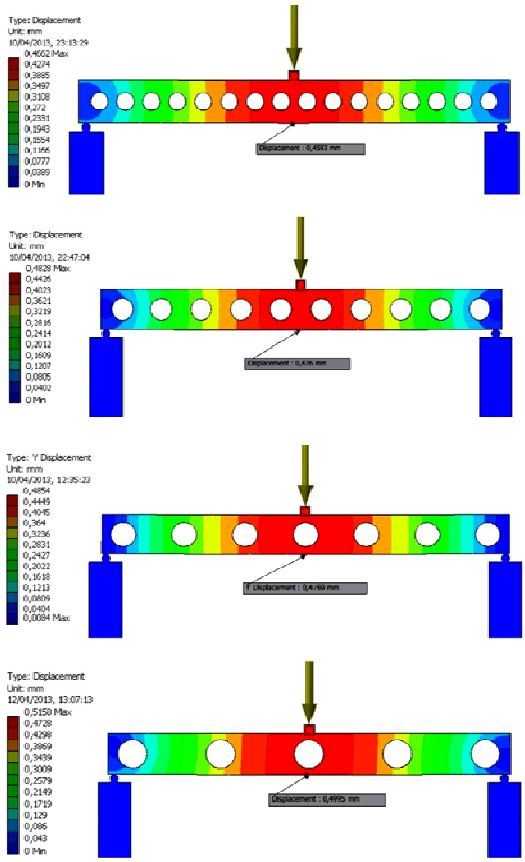
Perbedaan hasil eksperimen dengan penggunaan metode elemen hingga ditunjukkan oleh Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Perbandingan defleksi balok antara data eksperimen dan FEM

Data defleksi pada Gambar 4 di atas diambil pada beban maksimum. Besarnya perbedaan data di atas berkisar antara 7,92% sampai 12,28%. Perbedaan defleksi ini disebabkan oleh bobot balok pada saat dilakukan eksperimen. Sedangkan pada FEM tidak memperhitungkan berat balok itu sendiri.

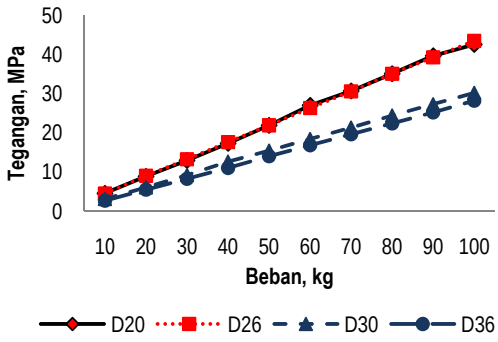
Penampilan besaran defleksi dengan menggunakan software dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Defleksi balok

4.2. Hubungan Antara Diameter Sel dan Tegangan Lentur Balok

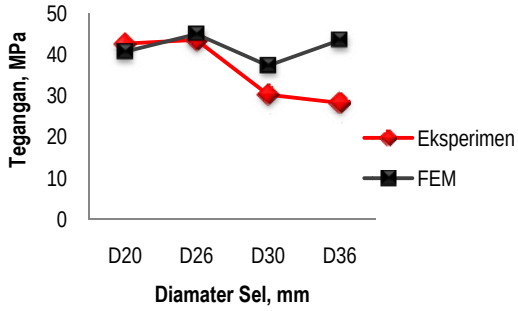
Gaya yang bekerja pada sebuah balok akan menyebabkan terjadinya tegangan dan regangan pada sepanjang balok. Geometri balok sangat berpengaruh terhadap distribusi tegangannya. Tegangan akan terkonsentrasi pada daerah-daerah dimana terjadi perubahan bentuk penampang balok, adanya lubang dan takikan pada sepanjang balok.



Gambar 6. Pengaruh beban terhadap tegangan pada pelat berlubang.

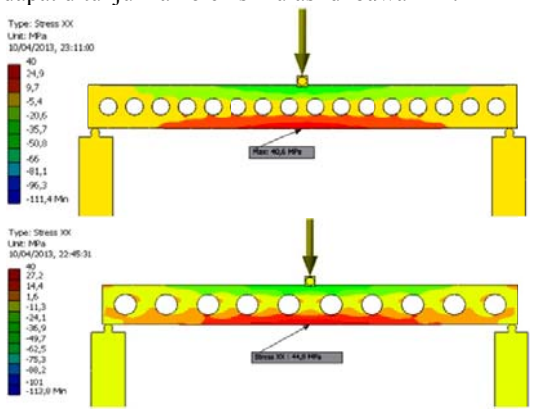
Dari Gambar 6 terlihat bahwa tegangan yang terjadi pada balok sebanding dengan penambahan bebannya. Balok yang memiliki sel lebih kecil ternyata menghasilkan tegangan yang sangat besar. Pada beban terbesar, tegangan pada balok yang memiliki diameter sel 20 mm dan 26 mm masing-masing sebesar 42,8 MPa dan 43,8 MPa. Hal ini dapat menjadi indikator bahwa balok memiliki tegangan yang lebih besar pada sisi tariknya. Yang menarik adalah pada balok dengan diameter sel 36 mm. Pada sel tersebut terjadi konsentrasi tegangan pada bagian sel yang cukup tinggi, yakni 70,7 MPa.

Perbandingan nilai tegangan yang diperoleh berdasarkan eksperimen dan FEM dapat dilihat pada Gambar di bawah ini. Fenomena yang unik terjadi pada balok yang memiliki sel dengan diameter 30 mm dan 36 mm.

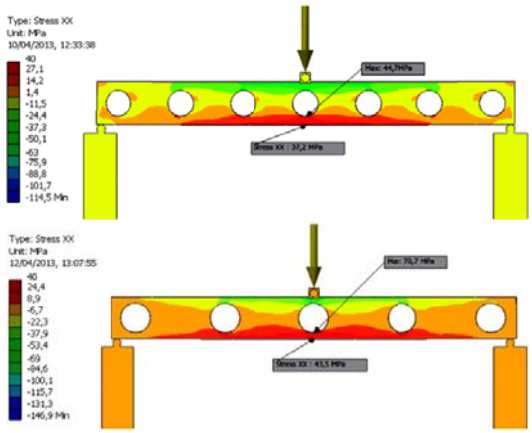


Gambar 7. Hubungan antara diameter sel dan tegangan

Sebuah balok yang memiliki lubang menerima gaya/beban akan mengalami pemusatan tegangan disekitar lubang. Adanya diskontinuitas balok mengakibatkan distribusi tegangan yang tidak merata di sekitar lubang tersebut. Tegangan di sekitar lubang memiliki nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan pada bagian yang pejal. Distribusi tegangan yang terjadi sepanjang balok dapat ditunjukkan oleh simulasi di bawah ini.



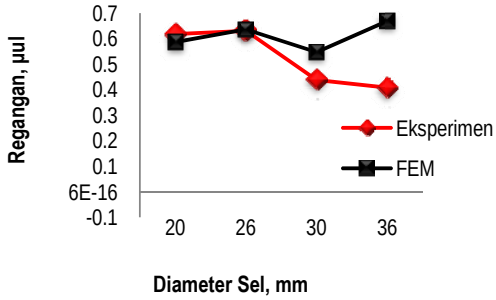
Gambar 8. Distribusi tegangan pada sisi tarik balok dan sekitar sel



Gambar 8. Distribusi tegangan pada sisi tarik balok dan sekitar sel (lanjutan)

4.3. Hubungan antara Diameter Sel dan Regangan Balok

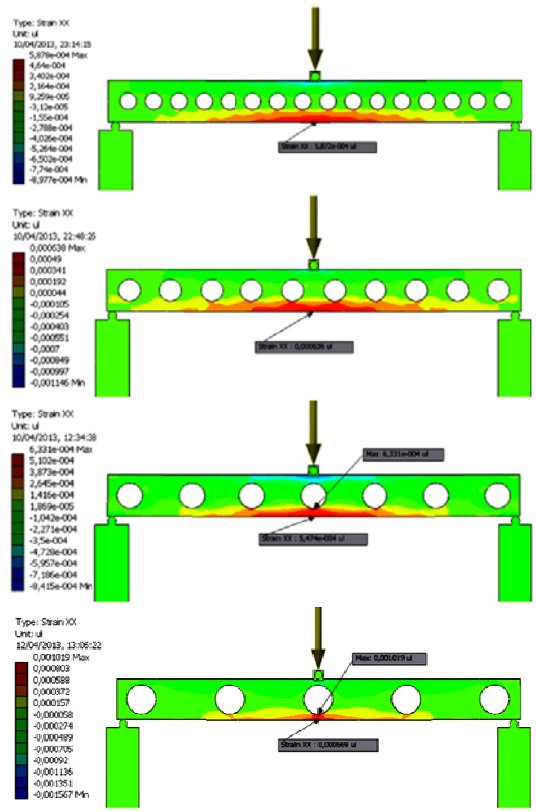
Regangan merupakan indikator kemampuan material dalam menyerap energi. Semakin besar regangan yang terjadi semakin besar energi yang dapat diserapnya. Regangan juga menunjukkan uletnya sebuah material. Besarnya regangan hasil pengujian dan eksperimen ditunjukkan oleh Gambar 9 berikut ini.



Gambar 9. Hubungan antara diameter sel dan regangan

Prosentase perbedaan ini sama persis dengan grafik diameter sel – tegangan, mengingat gaya yang bekerja belum melewati batas plastisnya. Artinya besarnya regangan sebanding dengan tegangan yang bekerja pada baloktersebut. Dengan kata lain kondisi tersebut masih berlaku Hukum Hooke. Simulasi besarnya regangan material balok dapat dilihat lebih rinci pada Gambar 10.

Dari Gambar 10 diperoleh informasi bahwa regangan pada balok yang memiliki diameter sel 36 mm, regangan yang terjadi cukup kecil. Sedangkan pada diameter sel yang paling kecil 20 mm regangan terdistribusi lebih panjang balok.



Gambar 10. Distribusi regangan pada balok

5. KESIMPULAN

Ada beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari pemaparan data di atas sebagai berikut:

1. Semakin besar diameter sel memiliki kecenderungan meningkatkan defleksinya, tetapi menurun pada tegangan dan regangan balok.
2. Pilihan yang memungkinkan untuk mempertemukan antara tegangan, regangan dan deffleksinya adalah balok dengan diameter sel 30 mm.

REFERENSI

[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).