

# Analisa Honeycomb untuk Mendapatkan Balok Paling Ekonomis Berdasarkan Tegangan dan Deformasi dengan SAP 2000 Versi 14

Ngudi Hari Crista<sup>1</sup> Bambang Purnijanto<sup>2</sup> Mukti Wiwoho<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil Universitas Semarang

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil Universitas Semarang

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Sipil Universitas Semarang

**Abstrak** Honeycomb adalah balok baja dengan bagian badan terbuka yang ketinggiannya berlipat karena penyusunan vertikal dari setengah potongan badan tersebut. Optimasi struktur dengan variabel desain geometri lubang ini disebut optimasi bentuk, oleh karena itu perhitungan ulang diperlukan untuk setiap kali perubahan bentuk, sehingga diperlukan waktu komputasi yang panjang. Penelitian bertujuan mendapatkan balok terekonomis dengan bentuk, heksagonal dan jarak antara lubang berbeda dengan ketinggian pelubangan sama, sehingga didapat konfigurasi atau tata letak lubang yang optimal. Metode yang digunakan adalah simulasi komputerisasi dengan SAP 2000 versi 14 terhadap 5 sampel untuk mendapatkan ukuran jarak lubang yang optimum pada balok baja profil I dengan bukaan heksagonal dan kondisi pembebanan yaitu beban merata sepanjang bentang serta beban titik di tengah bentang. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rasio tegangan terkecil terjadi pada sampel II, yaitu Honeycomb dengan jarak pelubangan 15 cm dengan nilai tegangan 1723,49 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan rasio tegangan terbesar pada sampel IV Honeycomb dengan jarak pelubangan 25 cm dengan nilai tegangan 1968,21 kg/cm<sup>2</sup>. Lendutan terkecil terjadi pada sampel II dengan jarak pelubangan 15 cm dengan nilai 0,2083 mm, sedangkan untuk deformasi terbesar terjadi pada sampel IV dengan jarak pelubangan 25 cm dengan nilai deformasi 0,2811 mm, sehingga jarak, bentuk, dan pelubangannya yang paling baik adalah pelubangan dengan jarak 15 cm untuk konfigurasi atau tata letak lubang yang optimal. Kajian lebih lanjut optimasi bentuk lubang *cellular*, baik bentuk *circular* maupun *ellips* dan tata letak lubang, dengan memperhatikan instabilitas balok baja profil I dengan bukaan bentuk *cellular* pada badan, akibat lentur dan tekuk pada daerah *web-post*.

Kata kunci: balok, kastella, tegangan, lendutan, jarak pelubangan, heksagonal, SAP2000

**Abstract** Honeycomb is a steel beam with the body open vertical height doubled because the preparation of the half-pieces of the agency. Optimization of structures with variable geometry design is called a hole shape optimization, therefore, the re-calculation is required for each change of shape, so it takes a long computation time. The research aims to gain terekonomis beam to the shape, hexagonal and the distance between the holes is different from the height of the perforation same, in order to get the configuration or layout optimal pit. The method used is a computerized simulation with SAP 2000 version 14 to 5 samples to obtain the optimum size hole distance on the I profile steel beams with hexagonal openings and the loading condition that a distributed load along the span and the load point at midspan. The simulation results show that the ratio of the smallest voltage occurs in the sample II, namely Honeycomb with a perforation spacing of 15 cm with the voltage value 1723.49 kg / cm<sup>2</sup>, while the ratio of the greatest stress on the sample IV Honeycomb with a perforation spacing of 25 cm with the voltage value 1968.21 kg / cm<sup>2</sup>. The smallest deflection occurs in sample II with a perforation spacing of 15 cm with a value of 0.2083 mm, while for the greatest deformation occurs in the sample IV with perforation spacing of 25 cm with a value of 0.2811 mm deformation, so the distance, shape, and it is best pelubangannya perforations with a distance of 15 cm for configuration or layout optimal pit. Further analysis of the cellular hole shape optimization, either circular or elliptical shape and layout of the hole, taking into account the instability I profile steel beams with cellular openings in body shape, due to bending and buckling in the web-post area.

Keywords: beam, Kastella, stress, deflection, distance perforations, hexagonal, SAP2000

## PENDAHULUAN

Honeycomb adalah balok baja dengan bagian badan terbuka yang ketinggiannya berlipat karena penyusunan vertikal dari setengah potongan badan tersebut. Pada bangunan

gudang maupun gedung penggunaan Honeycomb yaitu balok tampang I dengan lubang atau bukaan pada badan, dimanfaatkan untuk *duck work* dan instalasi pemipaan, menggantikan cara konvensional yaitu dengan menggantung pipa pada balok maupun plat.

Balok baja profil I dengan bukaan yang pertama dikenal ialah balok baja kastella (*castellated beam*) merupakan modifikasi dari bentuk profil baja tampang I yang dipotong pada bagian badan dengan cara zig-zag memanjang sepanjang garis netral dengan sudut dan ukuran tertentu. Satu dari dua bagian yang sama tersebut kemudian dirapatkan pada sisi-sisi yang kemudian disambung satu sama lainnya, dengan cara pengelasan untuk menghubungkan dua bagian tersebut akan lebih baik dan akan menghasilkan sebuah balok yang lebih tinggi, lebih kuat dan lebih keras dari pada profil awalnya.

Penggunaan Honeycomb sebagai teknologi konstruksi baja yang masih baru di Indonesia pada bangunan gedung yaitu balok tampang I dengan lubang atau bukaan pada badan dapat meningkatkan hampir dua kali profil aslinya. Pada perkembangannya bentuk atau geometri lubang pada balok baja kastella dapat dibuat dalam bentuk segi enam.

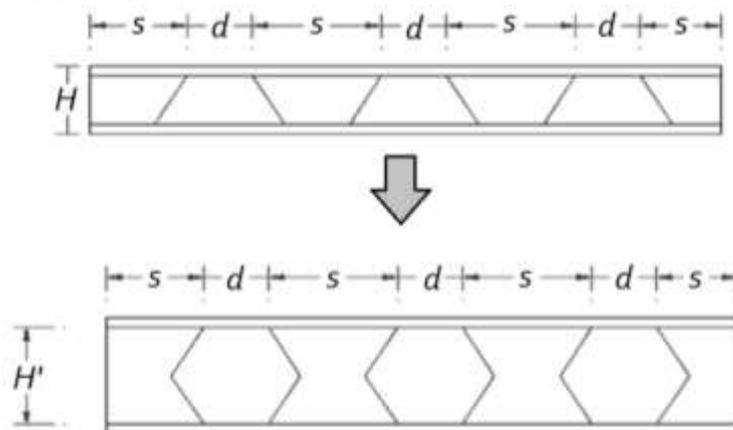
Penelitian bertujuan mendapatkan bentuk, ukuran dan jarak lubang bentuk heksagonal dan jarak antara lubang dengan ketinggian pelubangan sama, sehingga didapat konfigurasi atau tata letak lubang yang optimal, dan mengetahui lendutan yang terjadi antara Honeycomb dengan profil aslinya.

Digunakan metode simulasi komputerisasi dengan SAP 2000 versi 14 terhadap 5 sampel untuk mendapatkan ukuran jarak lubang yang optimum pada balok baja profil I dengan bukaan heksagonal dan kondisi pembebanan yaitu beban merata sepanjang bentang dan beban titik di tengah bentang.

Manfaat penelitian adalah untuk pengembangan ilmu pengetahuan di bidang perencanaan konstruksi baja, mendapatkan pedoman penentuan kriteria dasar perancangan bentuk dan ukuran lubang balok baja kastella, dan mendapatkan model perancangan sistem struktur balok baja dengan lebih ringan, yang akan menghemat biaya dan juga meningkatkan segi estetika dan fungsi layan.

## KAJIAN PUSTAKA

Pemotongan balok baja induk/awal untuk membentuk bukaan pada badan, pada awalnya berupa garis zig-zag yang kemudian membentuk lubang bentuk heksagonal, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1** Geometri Pemotongan Balok Induk Profil I (Sumber: Suharjanto, 2005)

Fenomena tekuk pada badan, berdasarkan penelitian dan kajian teoritis pada balok baja profil I dengan bukaan untuk heksagonal, menunjukkan bahwa umumnya terjadi pada daerah *web-post* (sepanjang badan Honeycomb )

Bazile dan Texier (1968) melakukan uji stabilitas *web post buckling* dan dari pengujian 7 Honeycomb dengan lubang heksagonal menunjukkan bahwa terjadi 5 balok mengalami *web-post buckling* dan 2 balok mengalami *lateral torsional buckling*.

Delesques (1968) melakukan kajian teoritis tentang *lateral torsional buckling* pada Honeycomb dengan bentuk lubang heksagonal dan menghasilkan program *elastic buckling* untuk memecahkan permasalahan *lateral torsional buckling* Honeycomb dengan lubang

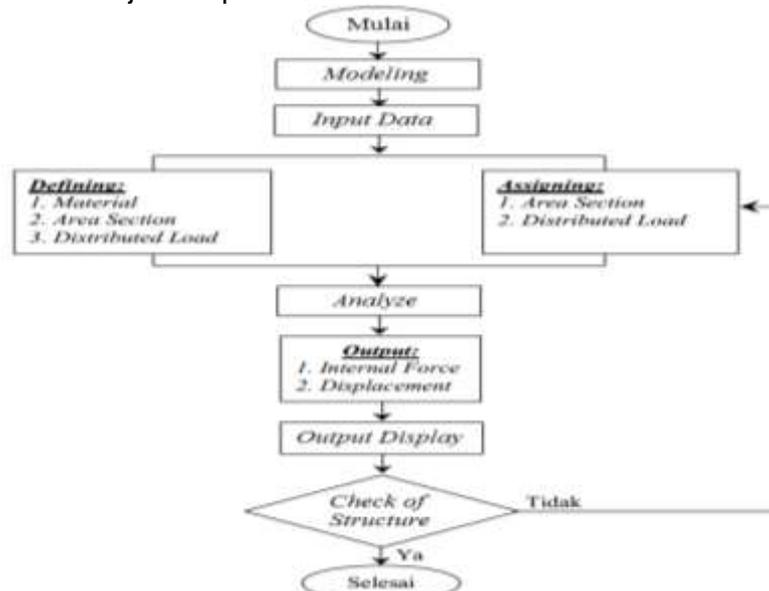
heksagonal tersebut. Tiga tipe Honeycomb bentuk lubang heksagonal serta dengan dua sudut kemiringan sisi lubang yang berbeda dari balok induk IWF yang dipilih untuk dibandingkan besar dan arah distribusi tegangan baik dengan metode analisis Virendeel, teori elastisitas pengujian eksperimental.

Peningkatan kemampuan tampang balok baja profil I dengan bukaan pada badan (Honeycomb) dibanding tampang balok induk atau balok asalnya, dalam menahan lentur ataupun beban eksternal. Bentuk yang akan dikaji selama ini adalah bentuk heksagonal. Dari berbagai penelitian juga menunjukkan kegagalan struktur Honeycomb tersebut umumnya adalah *buckling* pada daerah *web-post*, yang diakibatkan geser horizontal di daerah tersebut.

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode simulasi komputerisasi dengan bantuan *Structural Analysis Program* (SAP 2000) versi 14 untuk mendapatkan ukuran jarak lubang yang optimum pada balok baja profil I dengan bukaan heksagonal.

Simulasi komputerisasi ini dilakukan dengan memodelkan SAP2000 3 dimensi versi 14 dari model benda uji balok baja profil I dengan bukaan heksagonal pada badan, dengan kondisi pembebanan yaitu beban merata sepanjang bentang dan beban titik di tengah bentang, alur simulasi ditunjukkan pada Gambar 2.

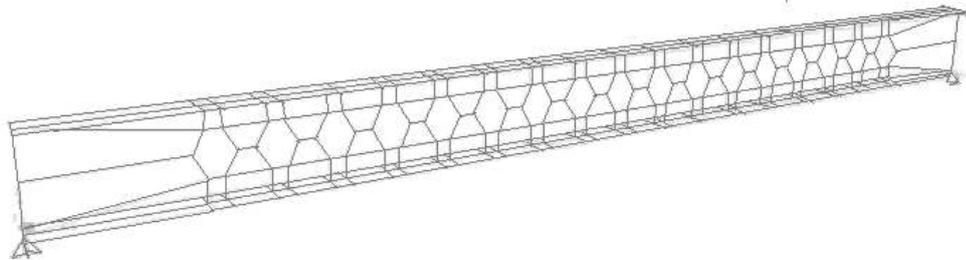


**Gambar 2** Alur simulasi menggunakan program SAP2000

Honeycomb dengan bukaan heksagonal berasal dari profil asli tampang I yang dimodifikasi dengan kurva pemotongan awal tertentu seperti terlihat dalam gambar, kemudian dimodelkan tersusun dari elemen tiga dimensi yang di atas sehingga terbentuk bukaan berbentuk heksagonal.

Simulasi komputasi untuk Honeycomb, balok baja dimodelkan dengan metode elemen hingga dan merupakan kumpulan elemen-elemen solid tiga dimensi yang satu sama lainnya terkoneksi dengan *node* atau *joint* sehingga menjadi struktur yang menyatu dan monolit sebagai balok baja kastella (Gambar 3).

Dari hasil analisis struktur Honeycomb dengan bukaan heksagonal dan ukuran di atas, diharapkan akan didapatkan temuan profil Honeycomb (yang dibuat dari profil asal I yang sama) suatu bentuk dan ukuran yang optimal yang mampu menahan beban vertikal yang maksimal. Dengan prediksi tersebut dapat ditentukan model uji beban yang paling rawan mengakibatkan kegagalan dan kerusakan struktur balok baja kastella dan model modifikasi bentuk dan ukuran lubang untuk mendapatkan tampang balok baja yang lebih kuat dalam melawan jenis kerusakan maupun kegagalan struktur yang diprediksikan akan terjadi.



**Gambar 3** Pemodelan elemen *shell* yang didiskritisasi pada SAP2000

## ANALISIS DAN PEMBAHASAN

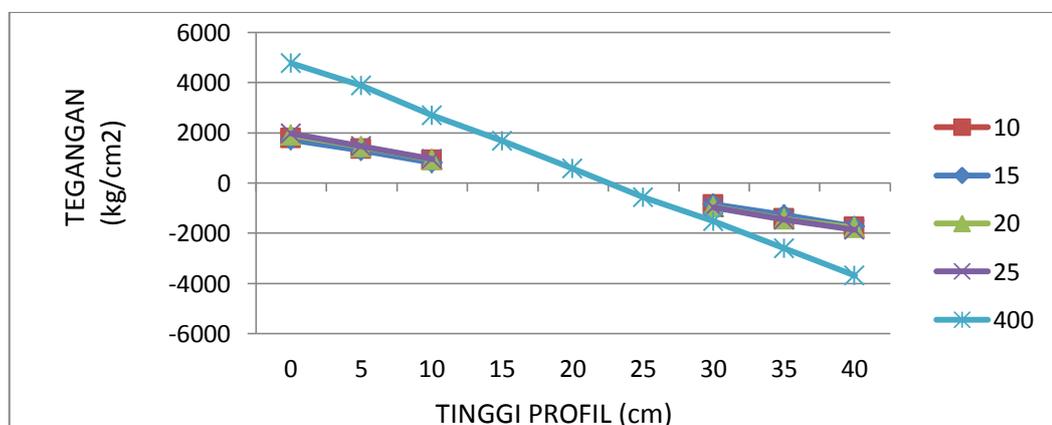
Lima buah sampel yang digunakan untuk simulasi komputasi mempunyai karakteristik sebagai berikut: jenis baja BJ37 dengan tegangan ultimate  $3700 \text{ kg/cm}^2$ , tegangan leleh  $2400 \text{ kg/cm}^2$ , tegangan dasar  $1600 \text{ kg/cm}^2$ , berat jenis  $1875 \text{ kg/m}^3$ , profil Honeycomb IWF600x300, variabel terikat = beban merata  $2 \text{ ton/m}^2$ , variabel bebas = jarak pelubangan bervariasi  $10 \text{ cm}$ ;  $15 \text{ cm}$ ;  $20 \text{ cm}$ ; dan  $25 \text{ cm}$ .

Perhitungan rasio tegangan dan lendutan (*deformation*) yang terjadi pada 5 buah sampel dilakukan melalui simulasi komputasi menggunakan program SAP2000, hasil analisis terhadap rasio tegangan disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 4, analisis terhadap nilai lendutan disajikan pada Tabel 2, dan analisis hasil perbandingan berat profil disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 1** Perbandingan Diagram Tegangan Semua Sampel

| Tinggi Profil H (cm) | Tegangan yang Terjadi ( $\text{kg/cm}^2$ ) |                            |                            |                            |
|----------------------|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                      | Sampel I                                   | Sampel II                  | Sampel III                 | Sampel IV                  |
|                      | jarak antar lubang (10 cm)                 | jarak antar lubang (15 cm) | jarak antar lubang (20 cm) | jarak antar lubang (25 cm) |
| 0                    | 1772,22                                    | 1723,49                    | 1914,46                    | 1968,21                    |
| 7,5                  | 1365,09                                    | 1291,24                    | 1450,76                    | 1466,12                    |
| 15                   | 901,87                                     | 815,09                     | 938,47                     | 944,06                     |
| 22,5                 |  |                            |                            |                            |
| 30                   |  |                            |                            |                            |
| 37,5                 |  |                            |                            |                            |
| 45                   | -874,04                                    | -840,77                    | -962,24                    | -977,03                    |
| 52,5                 | -1408,57                                   | -1260,55                   | -1430,63                   | -1469,32                   |
| 60                   | -1757,01                                   | -1738,17                   | -1783,46                   | -1854,01                   |

Sumber: Data primer (2015)



**Gambar 4** Perbandingan grafik tegangan semua sampel

Sumber: Data primer (2015)

**Tabel 2** Perbandingan Lendutan

| Sampel    | Lendutan (mm) |
|-----------|---------------|
| HCO –S=10 | 0,0002        |
| HCO –S=15 | 0,2083        |
| HCO –S=20 | 0,2653        |
| HCO –S=25 | 0,2811        |
| WF-400    | 0,7085        |

Sumber: Data primer (2015)

**Tabel 3** Perbandingan Berat Profil

| Sampel            | I<br>HCS=10 | II<br>HCSS=15 | III<br>HCSS=20 | IV<br>HCSS=25 | V<br>WF=400 | Profil setara<br>(WF-600) |
|-------------------|-------------|---------------|----------------|---------------|-------------|---------------------------|
| Berat Profil [kg] | 385         | 391,6         | 398,2          | 404,8         | 528         | 848                       |

Sumber: Data primer (2015)

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisis balok kastela di atas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Rasio tegangan terkecil terjadi pada sampel II, yaitu Honeycomb dengan jarak pelubangan 15 cm dengan nilai tegangan 1723,49 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan rasio tegangan terbesar pada sampel IV Honeycomb dengan jarak pelubangan 25 cm dengan nilai tegangan 1968,21 kg/cm<sup>2</sup>. Deformasi terkecil terjadi pada sampel II dengan jarak pelubangan 15 cm dengan nilai 0,2083 mm, sedangkan untuk deformasi terbesar terjadi pada sampel IV dengan jarak pelubangan 25 cm dengan nilai deformasi 0,2811 mm, Sehingga jarak, bentuk, serta pelubangannya yang paling baik adalah pelubangan dengan jarak 15 cm untuk konfigurasi atau tata letak lubang yang optimal
- 2) Dibandingkan pada profil asal (IWF 400) mempunyai berat sebesar 528 kg, dengan deformasi sebesar 0,7085 mm, sedangkan pada Honeycomb pada sampel II (HCO-25) mempunyai berat sebesar 391,6 kg, dengan deformasi sebesar 0,2811 mm, dan apabila dibandingkan dengan profil setara (IWF- 600) yang mempunyai berat 848 kg dengan HCO-25 (tinggi badan 600) yang mempunyai berat 391,6 kg maka dapat disimpulkan bahwa sampel II atau Honeycomb mempunyai nilai yang ekonomis dan lebih kuat untuk menahan momen lentur yang besar dibandingkan dengan profil IWF yang setara.

## SARAN

- 1) Walaupun Honeycomb mampu menahan momen lentur yang besar, tetapi perlu ditinjau pada bagian badan profil tersebut (profil sangat langsing) maka sering terjadi tekuk pada bagian balok tersebut sehingga perlu dikaji lagi untuk perkuatan pada bagian badan Honeycomb.
- 2) Perlu adanya penelitian lanjut tidak hanya sebatas pelubangan bentuk heksagonal, tetapi juga pelubangan dalam bentuk lingkaran.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2004. *Excellence in Construction*. Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia / HAKI, Jakarta.
- Chen, W.F. 1988. *Steel to Column Building Connection*. Elsevier Science Publisher. Indiana
- Computers and Structures, Inc. 1995. *SAP version 7.42 Tutorial. Pushover Analysis*. University Avenue. Barkeley, California.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1987. *Pedoman Perencanaan Bangunan Baja Untuk Gedung*, SKBI-1.3.55.1987 UDC: 693.814
- Gunawan, Rudy. 1987. *Tabel Profil Konstruksi Baja*. Kanisius. Yogyakarta
- Gunawan, T. dan Margaret, S. 1990. *Diktat seri B Teori Soal dan Penyelesaian Konstruksi Baja*, Delta Teknik Group Jakarta.
- Hadi, P. & rekan, 2009. *Desain Konstruksi Plat dan Rangka Beton Bertulang dengan SAP 2000 Versi 9*, Penerbit Andi Yogyakarta
- Hadi, P. dkk, 2012. *12 Tutorial & Latihan Desain Konstruksi dengan SAP Versi 9*, Penerbit Andi Yogyakarta.
- Suharjanto, 2005, *Optimasi Bentuk dan Ukuran Lubang Cellular Balok Baja Profil I dengan Bukaan pada Badan pada Balok Sederhana di Daerah Stabilitas Elastis dengan Beban Garvitasi*, Penelitian Disertasi UNDIP, Semarang.
- Sontag and Henn Hart, *Multi Storey Buildings in Steel*, Granada Publishing London Toronto Sydney New York
- Yusup, S.M. 1982. *Konstruksi-konstruksi Baja II, Dasar-dasar Pengetahuan dalam Pekerjaan Teknik*, Penerbit Sumur Bandung
- Hari Crista, Ngudi. 2009. "Perbandingan Balok Kastela berdasarkan atas Jarak Perlubangan, Tesis. Universitas Islam Sultan Agung