

ANALISIS EFEK PENGGUNAAN HONEYCOMB BEAM PADA BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT BENTANG LEBAR

Nono Suhana¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil
Universitas Wiralodra – Indramayu

Ahmad Mudofar²⁾

²⁾Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil
Sekolah Teknologi Mandala – Bandung

ABSTRACT

Design of structures with steel material is a system commonly used in high rise buildings, the use of steel profile Original Beam with wide span is quite expensive in implementation. Therefore there is an alternative such as Honeycomb Beam structure which must meet the design criteria: strength, stiffness, and economy. In this analysis, the calculation of Trial and Error with the help of SAP 2000 program to analyze the steel structure span width between 6-14 meters. Analysis of Trial and Error 2D 6 Story portal with the same loading for dead load, live load and earthquake load in zone 3 of Indonesia region. Structural calculation method with LFRD (Load and Resistance Factor Design). The purpose of struktur wide span analysis with Trial and Error on Beam Original Beam and Honeycomb Beam is the fulfillment of design criteria. The result of the analysis is to compare the two systems.

From the analysis of steel structure shows that based on the strength of steel structure with Honeycomb Beam system safer when compared with steel structure system Original Beam voltage average reaches 19.22%. Based on the stiffness with the difference of percentage percentage of structure system Honeycomb Beam average reach 30,18% to Original Beam structure system and based on keonornisan consumption of material system structure Honeycomb Beam average reach 29.26% more economical compared with structure system of Original Beam.

Keyword: *honey comb beam, wide span, economical*

ABSTRAK

Desain struktur dengan bahan baja merupakan sistem yang umum digunakan pada bangunan gedung bertingkat, penggunaan profil baja *Original Beam* dengan bentang lebar cukup mahal didalam pelaksanaannya. Oleh karena itu perlu adanya alternatif seperti struktur *Honeycomb Beam* yang mana harus memenuhi kriteria desain yaitu : kekuatan, kekakuan, dan keekonomisan. Dalam analisis ini dilakukan perhitungan *Trial and Error* dengan bantuan program SAP 2000 untuk menganalisis struktur baja bentang lebar antara 6 — 14 meter. Analisis *Trial and Error* portal 2D 6 Story dengan pembebanan yang sama untuk beban mati, beban hidup dan beban gempa pada zone 3 wilayah Indonesia. Metoda perhitungan struktur dengan LFRD (*Load and Resistance Factor Design*). Tujuan analisis struktur bentang lebar dengan *Trial and Error* pada balok *Original Beam* dan *Honeycomb Beam* adalah terpenuhinya kriteria desain. Hasil analisis adalah untuk membandingkan kedua sistem tersebut.

Dari hasil analisis struktur baja menunjukkan bahwa berdasarkan kekuatan struktur baja dengan sistem *Honeycomb Beam* lebih aman jika dibandingkan dengan sistem struktur baja *Original Beam* tegangan rata-rata mencapai 19,22%. Berdasarkan kekakuan dengan lendutan perbedaan prosentase sistem struktur *Honeycomb Beam* rata-rata mencapai 30,18% terhadap sistem struktur *Original Beam* dan berdasarkan keekonomisan konsumsi bahan sistem struktur *Honeycomb Beam* rata-rata mencapai 29.26% lebih hemat dibandingkan dengan sistem struktur *Original Beam*.

Kata kunci : *honey comb beam, bentang lebar, ekonomis*

I. PENDAHULUAN

Desain struktur merupakan salah satu bagian dari keseluruhan proses perencanaan bangunan, dalam proses ini dapat dibagi menjadi dua bagian. Proses yang pertama adalah desain awal (*Preliminary Design*) yang merupakan peninjauan secara garis besar terhadap keputusan desain. Sedangkan Proses yang kedua adalah detail desain (*Detail Engineering Design*) yang antara lain meninjau tentang penentuan besar penampang-lintang balok, kolom dan elemen struktur lainnya secara terinci.

Jenis bangunan gedung yang akan dibahas dalam tulisan ini merupakan jenis gedung bertingkat, dengan struktur portal *Honeycomb Beam* dengan menggunakan bahan baja WF (*Wide Flange*), Permasalahan utama pada bangunan gedung bentang lebar adalah masalah lendutan. Semakin besar bentang maka lendutan (*Deformasi*) pada suatu balok akan semakin besar ini diakibatkan oleh realistik beban luar. Akibat gaya aksial yang menekan balok akan menimbulkan juga lendutan, disamping pengaruh beban lateral seperti angin dan gempa yang menambah lendutan tersebut. Dalam menghadapi masalah ini, perlu adanya rekayasa hingga masalah yang timbul dapat teratasi dengan konsekuensi tetap mempertahankan bentang lebar dengan catatan dimensi profil membesar, atau merekayasa struktur bentang lebar dengan *Honeycomb Beam* sebagai salah satu alternatif.

Permasalahan utama pada bangunan gedung bentang lebar adalah masalah lendutan (*Deformation*), karena semakin lebar bentang maka deformasi pada balok akan semakin besar pula akibat dari beban atau efek beban yang bekerja selama masa penggunaan bangunan, sedangkan beban — beban tersebut meliputi : beban mati (*Dead Load*), beban hidup (*Live Load*), beban gempa (*Earthquake*) dan beban angin (*Wind Load*).

Struktur suatu bangunan sebelum terbebani secara maksimal kondisinya tetap akan stabil, tetapi bila terbebani dan beban yang diterima sudah bekerja secara maksimal maka struktur suatu bangunan tersebut juga akan menunjukkan perilakunya, akibat beban yang diterima. Penggunaan profil yang besar secara

langsung akan mengkonsumsi bahan yang besar dengan demikian biaya yang dibutuhkan juga harus besar.

Rumusan masalah dalam analisa ini adalah sebagai berikut :

1. Membandingkan antara profil baja standar (*Original*) dan profil baja *Honeycomb*, seberapa besar kapasitas yang bisa diterima oleh masing-masing penampang pada bentang lebar
2. Dengan analisis *trial and error* kedua sistem ini, seberapa besar pengaruhnya terhadap tegangan dan lendutan
3. Dan hasil *trial and error* ini apakah konsumsi baja rekayasa *Honeycomb Beam* lebih ekonomis atau sebaliknya menjadi boros dibandingkan dengan profil Baja *Original Beam*

Untuk menganalisis struktur bangunan gedung cukup luas cakupannya untuk dan dibahas, analisis ataupun perencanaan terperinci akan dihadapkan pada ketentuan-ketentuan yang ada dalam merealisasikan perencanaannya yaitu mulai dari bangunan bawah termasuk didalamnya keadaan tanah sampai menentukan bentuk pondasi kemudian bangunan atas sampai terbentuknya bangunan secara makro oleh karena cukup luas cakupannya maka pada analisis ini akan dibatasi yang antara lain :

- a. Bangunan yang dianalisis adalah struktur baja dengan metode *Original Beam* dan metode *Honeycomb Beam*
- b. Bangunan tersebut berbentuk prismatis
- c. Bangunan yang dianalisis adalah bangunan atas *Upper Structure*, keadaan tanah dan pondasi diabaikan
- d. Perhitungan baut dan cara penyambungan las diabaikan
- e. Dalam menganalisis model struktur baja ini digunakan metode LRFD (*Load and Resistance Factor Design*)
- f. Dalam perhitungannya gedung ini mengacu pada peraturan standar bangunan gedung
- g. Bentang lebar bangunan diambil antara 6m - 14 m
- h. Dalam menganalisis perhitungan ini menggunakan Program SAP 2000

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan batasan-batasan lendutan (*Deformation*) yang timbul, tegangan yang terjadi, kemudian konsumsi bahan yang dipergunakan, dan seberapa besar perbedaan penggunaan profil baja berdimensi besar dengan rekayasa struktur bentang lebar dengan sistem atau metode *Honeycomb Beam*

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efek atau pengaruh penggunaan *Honeycomb Beam* terhadap bangunan bentang lebar.

Kegunaan penelitian iru secara ilmiah adalah untuk mencari jawaban apakah penggunaan profil baja *Castellated Beam* ini cukup elektif atau tidak jika dibandingkan dengan menggunakan profil Baja standar (*Original*) ialu ditinjau dari lendutannya seberapa besar pengaruhnya, terhadap variasi bentang, kemudian dari segi kekuatannya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

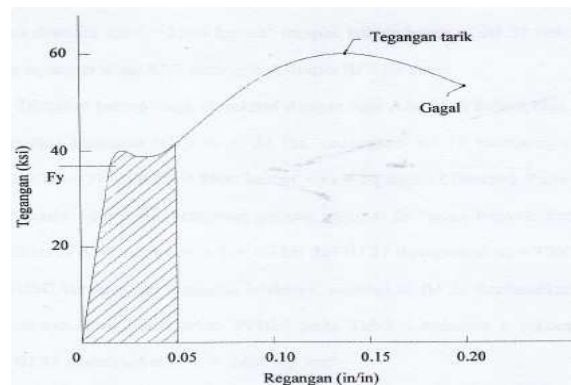
2.1. Tegangan- Regangan (Stress-Strain)

Menurut Leonard Spigel dan George F. Limbrunner (1986:4) Pengetahuan tentang sifat mekanis baja dapat diperoleh dari uji tarik. Uji ini melibatkan pembebanan tarik sampel baja an bersamaan dengan dilakukan pengukuran beban dan perpanjangan sehingga diperoleh tegangan dan regangan.

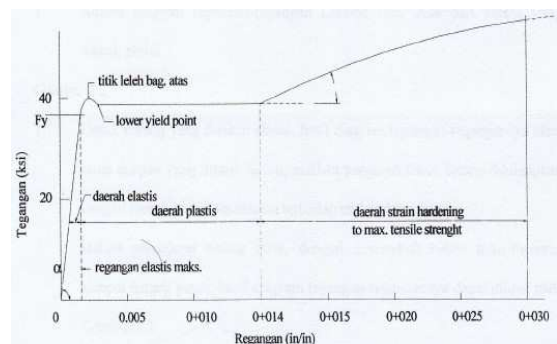
Tegangan : $\sigma = P/A$
 Regangan : $\epsilon = \Delta L/L$

dimana :

- σ = tegangan tarik yang dihitung (kg/cm^2)
- P = beban tarik yang diberikan (kg)
- A = luas penampang (cm^2)
- E = regangan (cm/cm^2)
- ΔL = perpanjangan atau perubahan panjang antara dua titik acuan specimen taril (cm)
- L = panjang semula sebelum dibebani (cm)



Gambar 1 Diagram Tegangan-Regangan dari Baja Struktur



Gambar 2 Diagram Tegangan Regangan Daerah yang Diarsir pada Gambar 1

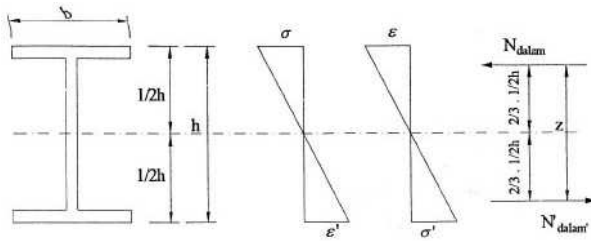
Menurut Ir. Oentoeng (1999:3) dibanding dengan tegangan leleh A36 yang terletak diantara 2200 — 2500 kg/cm^2 tampak bahwa harga of BJ 37 terletak dalam selang tegangan leleh A36, sehingga A36 dan BJ 37 adalah sama. Gambar 2.2 adalah untuk batang yang ditekan aksial, hasil diagram tegangan-regangannya akan sama asalkan pengaruh tekuk batang dihilangkan dengan memberikan penahanan terhadap tekuk batang.

Dalam percobaan batang tarik dengan menahan beban terus-menerus sampai batang patah hasil diagram tegangan-regangannya dapat dilihat pada Gambar 2.1. Batang ditarik sampai mencapai titik leleh (*Yield Point*) dengan tegangan lelehnya sebesar $F_y = 36$ ksi.

2.2 Tegangan Lentur

Menurut W.C Vis dan Gideon Kusurna (1993:9). Andaikan balok kontrol berpenampang empat persegi panjang dengan tinggi h dan lebar b . Distribusi tegangan dan

regangan pada balok karena momen lentur terlihat pada Gambar 2.3.



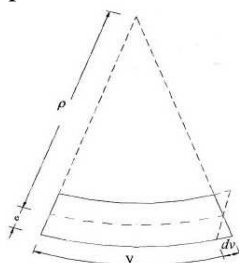
Gambar 3 Diagram Distribusi Tegangan - Regangan

Diatas sumbu netral terdapat tegangan tarik sedangkan dibawah sumbu netral tegangan tekan. Dan syarat - syarat keseimbangan gaya-gaya horisontal $\Sigma H=0$ terdapat $N_{dalam} = N'_{dalam}$. Besar gaya-gaya ini masing-masing adalah volume dari 'diagram tegangan' atas dan bawah (tarik dan tekan).

Dari Gambar 3 terlihat dengan jelas bahwa : $N'_{dalam} = b \cdot 1/2 \cdot h \cdot 1/2 \cdot \sigma' = 1/4 \cdot b \cdot h \cdot \sigma'$; $N_{dalam} = 1/4 \cdot b \cdot h \cdot \sigma$. Karena titik berat segitiga terletak pada 2/3 tinggi, lengan pengungkit dalam z sama dengan: $2 \times 2/3 \times 1/2 h = 2/3 h$. $M_{dalam} = N_{dalam} \cdot z = 1/4 \cdot b \cdot h \cdot \sigma \cdot 2/3 h = 1/6 \cdot b \cdot h^2 \cdot \sigma'$.

2.3 Lendutan

Panjang elemen semula (v) sebelum dilakukan pembebanan mengakibatkan momen. Pada saat balok mengalami lendutan serat bagian bawah mengalami perpanjangan dv sedangkan serat atas mengalami perpendekan dv sehingga serat ditengah tidak mengalami perubahan panjang. Bila ρ adalah jari-jari kelengkungan sumbu netral sepanjang balok dan e adalah jarak dari sumbu netral ke serat bawah seperti pada Gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 4 Suatu Elemen dari Balok yang Melengkung

dimana :

V = panjang elemen mula-mula

dv = pertambahan panjang

e = jarak dan sumbu netral ke serat terbawah

ρ = jari-jari lengkung dari sumbu netral sepanjang balok.

Dan hukum keseimbangan segitiga kita dapatkan $e / \rho = dv / v$. Perbandingan dv menyatakan regangan, sesuai dengan $\Delta l / l$

Maka,

$$e / \rho = \epsilon \text{ atau } 1 / \rho = \epsilon / e.$$

Menurut hukum Hooke :

$$\sigma = E \cdot \epsilon \text{ atau } \epsilon = \sigma / E$$

Kemudian

$$\sigma = M / W \text{ maka } 1 / \rho = M / E \cdot W \cdot e$$

Hasil kali dari W.e = 1 dan disebut momen lembam (momen inersia), sehingga dapat kita tuliskan :

$$1 / \rho = M / EI$$

Definisi bentang lebar adalah berdasarkan kapasitas maksimum profil yang memenuhi desain dapat digunakan pada struktur bangunan gedung bertingkat

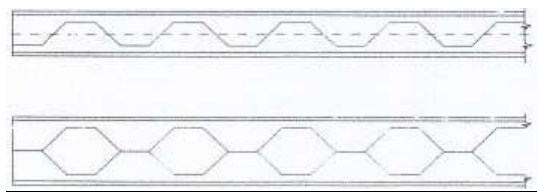
2.4 Pengertian HoneyComb Beam

Honeycomb Beam adalah suatu balok struktur baja standar (*Original*) melalui rekayasa yaitu penampang balok baja dipotong dengan pola zig-zag sepanjang garis netral. Salah satu dari pola dua bagian yang sauna besar dipindahkan keujung yang lain kemudian dilas dan penampang membentuk mirip seperti sarang lebah sehingga menghasilkan penampang profit baja menjadi besar. Sistem *Honeycomb Beam* ini dapat juga disebut *Castellated Beam* atau *The Open-Web Expanded Beam*

2.5 Konsep Desain

Menurut Omer W. Blodgett (19615:4.7) Penghormatan dalam penggunaan bahan sering terlupakan dalam konsep desain. *The Open-Web Expanded Beam* (bukaan badan memperbesar penampang balok) yang telah menghasilkan keuntungan bagi perusahaan dalam bidang teknik. Hal ini harus dapat dijadikan pertimbangan untuk penggunaan banyak proyek. Bukaan balok menyebabkan kenaikan modulus dan momen inersianya, sehingga kekuatan dan kekakuannya bertambah besar. Pengurangan berat balok menyebabkan

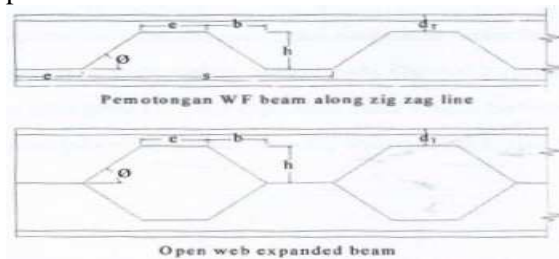
efek berantai terhadap penghematan seluruh struktur.



Gambar 5 Balok yang dipotong sepanjang garis sumbu dengan Rekayasa *Honeycomb Beam*

2.6 Geometri dari Pola Pemotongan

Pola pemotongan secara zig zag dan geometri dari badan terbuka yang dipotong dapat membantu dalam penentuan sifat baja lihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Pemotongan WF dengan Pola Zig-Zag

Pada umumnya, sudutnya (θ) minimal adalah sekitar 45° dan maksimal 70° , tetapi biasanya digunakan sudut 45° dan 60° . Sudut ini harus cukup untuk menjaga tegangan geser yang diijinkan pada arah horizontal sepanjang sumbu badan netral.

2.7 Ketahanan Terhadap Gaya yang Diterapkan

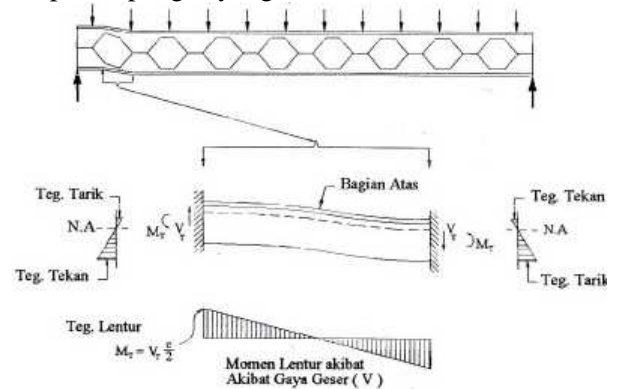
Karena sayap balok menahan banyak beban tarik (*Bending Load*), maka kehilangan daerah *Open Web* (badan yang terbuka) merupakan masalah besar oleh karena itu momen yang dihasilkan harus tetap stabil. Kemudian gaya geser dibawah badan harus tetap dipertimbangkan. Setiap melakukan *Open Web*, kedua bagian T berfungsi sebagai bagian dari bingkai dalam menahan gaya geser arah vertikal.

Pertimbangan konsep utamanya adalah sebagai berikut :

1. Bagian atas dan dasar dari balok dimaksudkan untuk menekan atau

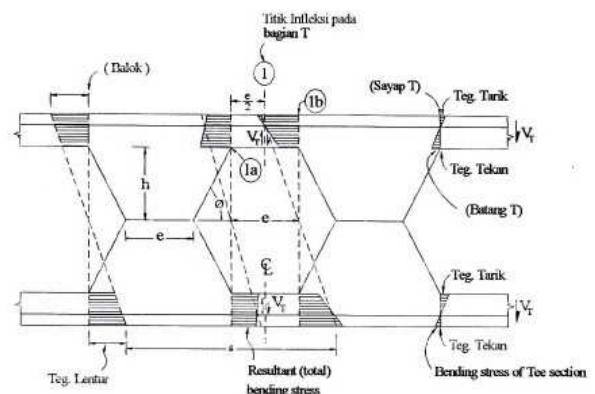
memampatkan dan menegangkan tegangan tarik (bending stress).

2. Gaya geser (V) arah vertikal pada balok dibawah badan, dan menghasilkan gaya geser arah vertikal pada badan baik pada bagian penampang penuh maupun pada penampang T yang terbuka



Gambar 7 Reaksi *Open Web* Akibat Beban Luar

Tegangan tarik utama berlaku pada *Open Web* (bagian hukaan T) ini diasumsikan akan naik secara linier hingga maksimum pada serat bagian lama. Pada tegangan ini tegangan tarik kedua harus ditambahkan atau dikurangi, tergantung pada tanda yang sedang berlangsung, seperti terlihat pada bagian tengah Gambar 8



Gambar 8 Tegangan yang Terjadi disekitar *Open Web*

2.8 Total Tegangan Tarik pada Balok

Tegangan tarik kedua pada penampang T mengacu pada kecepatan geser vertikal pada bagian 1, ditambahkan pada tegangan tarik utama pada penampang T mengacu pada momen utama (M) pada bagian 1, seperti persamaan dibawah ini

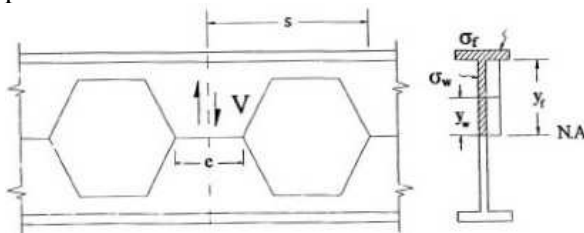
$$\sigma_{1a} = M_{1a} \cdot h / I_g + V_1 \cdot e / 4S_x$$

Tegangan tarik sekunder pada sayap T mengacu pada kecepatan geser vertikal pada bagian 1, ditambah dengan tegangan tarik utama pada T berdasarkan pada momen utama (M) pada bagian 2.3, seperti persamaan dibawah ini

$$\sigma_{1a} = M_{1a} \cdot d_g / I_g \cdot 2 + V_1 \cdot e / 4S_f$$

2.9 Tegangan Geser Arah Horizontal dan Arah Vertikal

Untuk memeriksa tegangan geser horizontal sepanjang sumbu netral balok. Menggunakan rumus konvensional untuk tegangan geser, mengasumsikan badan dalam bentuk penuh ($\tau = V_{ay} / It$). Kemudian menaikan tegangannya dengan rasio keseluruhan dari bagian badan terhadap jaringan bagian (s/e) untuk catatan bahwa hanya sebagian (e/s) dari badan sepanjang sumbu netral yang akan menjadi padat, lihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Tegangan Geser Arah Vertikal pada Badan Penuh

2.10 Analisa Beban Statik Ekuivalen

1. Waktu Getar Gedung

Untuk keperluan pendahuluan struktur dan pendimensian, waktu getar gedung T dalam detik ditentukan sebagai berikut :

$$T = 0,085 H^{3/4}$$

dimana :

T = waktu getar dalam detik

H = tinggi bangunan

2. Gaya Geser Horizontal Total Akibat Gempa

Setiap gedung harus direncanakan dan dilaksanakan untuk menahan suatu gaya geser dasar horizontal total akibat gempa (V) dalam arah-arah yang ditentukan. Menurut persamaan adalah sebagai berikut :

$$V = CIK.W$$

dimana :

V = Gaya geser

C = Koefisien gempa dasar

I = Faktor keutamaan

W = Beban keseluruhan

3. Pembagian Gaya Geser Dasar Horizontal Total Akibat Gempa

Gaya geser dasar horizontal total akibat gempa (V) hams dibagi sepanjang tinggi gedung menjadi beban-beban horizontal terpusat yang tnenangkap pada masing-masing lantai tingkat, seperti persamaan dibawah ini :

$$Rumus empiris F = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i}$$

dimana :

V = Gaya geser

F = Pembagian gaya geser horizontal

I = Faktor keutamaan

W = Beban keseluruhan

Pembebanan gempa bekerja dalam kedua arah utama dan gedung secara bergantian. Peraturan ini menetapkan bahwa struktur-stuktur daktail direncanakan terhadap suatu bagian kecil saja dari beban-beban gempa yang sesungguhnya, dan karenanya banyak unsur-unsur struktur sudah akan mencapai taraf-taraf pelelehan.

2.11 Metode Load and Resistance Factor Design (LRFD)

Menurut Charles G. Salmon dan Jonh E. Johnson (1988:29). Pada tahun 1980-an, pendekatan "Desain Keadaan Batas " mulai diterima..

Menurut ANSI, LRFD A4. I menyatakan bahwa kombinasi-kombinasi pembebanan adalah sebagai berikut

1. 1,4 DL
2. 1,2DL+ 1,6LL
3. 0,9 DL ± 1,3 WL
4. 1,2 DL ± 1,3 WL
5. 1,2 DL + 0,5 LL + 1,3 WL
6. 0,9 DL ± 1,0 E
7. 1,2 DL ± 1,0 E
8. 1,2 DL + 0,5 LL ± 1,0 LL

Beban-beban layanan nominal yang ditunjukkan oleh persamaan dari pertama sampai terakhir diatas adalah :

DL = beban mati (beban gaya berat dari elemen-elemen struktural dan tempelan permanen).

LL = beban hidup (beban peralatan yang dapat bergerak dan okupansi berat gaya

WL = beban angin

E = beban gempa

.Secara umum. untuk persyaratan keamanan dapat ditulis :

$$\theta R_n \geq \sum \gamma_i \cdot Q_i$$

Dimana ruas kiri dari persamaan diatas mewakili resistensi, atau kekuatan dari komponen atau sistem. Sedangkan sisi kanan mewakili beban yang diharap akan ditanggung. Pada sisi kekuatan, harga nominal resistensi R_n dikalikan dengan faktor resistensi (reduksi kekuatan). Pada sisi beban dari persamaan diatas, berbagai efek beban Q_i (seperti beban mati, beban hidup, dan beban salju) dikalikan dengan faktor-faktor kelebihan beban γ_i untuk mendapatkan jumlah $\sum Q_i$ dari beban-beban terfaktor.

Berikut ini diberikan beberapa faktor resistensi θ sebagai berikut :

Batang Tarik

$\theta = 0,90$ untuk keadaan batas leleh

$\theta = 0,75$ untuk keadaan batas retakan

Batang Tekan

$\theta = 0,85$

Balok

$\theta = 0,90$

Pengelasan

$\theta = 0,75$ sama untuk semua tipe kerja, yakni tarik, lentur, dan sebagainya.

Penyambungan (baut A325)

$\theta = 0,75$ untuk kekuatan tarik

$\theta = 0,65$ untuk kekuatan geser

2.7 Lentutan

Lentutan Maksimum yang terjadi pada balok menurut PPBBI (1984:30) bahwa lentutan maksimum pada balok adalah:

a. Lentutan maksimum akibat beban mati + beban hidup harus lebih kecil dari $L/250$.

Pada balok yang terletak bebas atas dua tumpuan, L adalah bentang dari balok tersebut, pada balok menerus atas banyak perletakan, L adalah jarak antara titik-titik beloknya akibat beban mati, sedangkan pada balok kantilever L adalah dua kali panjang kantilevernya.

b. Bila sebelum terbebani suatu konstruksi diberi lawan lendut sedemikian rupa sehingga akibat beban mati + beban hidup, lendutan yang terjadi terhadap garis sistem yang sebenarnya $< L/250$, maka harus pula dipenuhi syarat lendutan maksimum akibat beban hidup $L/500$.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode deskriptif analisis yang hanya menguraikan analisis struktur berdasarkan literatur yang ada.

3.2 Teknik Analisis

Dalam menganalisis suatu struktur hail(itu bangunan gedung, pabnk, jembatan, tower dan lain-lain digunakan cara manual atau dengan bantuan program komputer. Akan tetapi dengan kemajuan teknologi saat ini cara manual sudah jarang digunakan karena disamping membutuhkan waktu yang lama juga memerlukan ketelitian tinggi.

Dalam menganalisis model struktur *Original Beam* dan struktur *Honeycomb Beam* ini menggunakan bantuan Program *SAP2000*, selain sudah umum dipergunakan juga mudah cara mengoperasikannya.

3.3 Merancang dengan Cara Manual

Menurut H. Prarnono (2004:7) Merancang dengan cara Manual (tanpa aplikasi komputer) secara umum dibagi menjadi 2 tahap yaitu :

a Analisis Mekanika Teknik

b. Desain struktur konstruksi sesuai bahan yang direncanakan

Secara garis besar metode ini melalui tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Menentukan geometri model struktur
2. Menetapkan beban yang beketja pada model struktur
3. Menentukan angka kekakuan berdasarkan pada modulus elastisitas (E) bahan dan momen inersia (I) yang tergantung dari

- ukuran dan posisi penampang
4. Menghitung momen primer
 5. Analisis struktur dengan metode tertentu
 6. Menghitung momen pada perletakan sendi dan rol
 7. Menghitung momen maksimum
 8. Menggambar bidang momen, geser dan aksial

Perhitungan konstruksi baja mengikuti metode *ASD (Allowable Strength Design)* atau *LRFD (Load and Resistance Factor Design)* seperti yang sudah dijelaskan pada bah sebelumnya.

3.4 Merancang dengan Menggunakan Program Struktur SAP2000

Menurut W.Dewobroto (2004:85) Program SAP2000 menyediakan fitur dan model terintegrasi yang lengkap untuk desain struktur baja dan beton bertulang.

Fasilitas perencanaan berdasarkan *Design-Code* yang Baku dapat digunakan dengan merubah parameter-parameter tertentu untuk disesuaikan dengan peraturan perencanaan yang berlaku.

Berikut ini ada 7 (tujuh) langkah-langkah untuk mendesain gedung bertingkat dengan program SAP2000 yaitu :

1. Menentukan geometri model struktur
2. Mendefinisikan data
3. Menempatkan (*Assign*) data yang telah didefinisikan kedalam model struktur
4. Menempatkan (*Assign*) Beban yang bekerja
5. Memeriksa Input Data
6. Analisis Mekanika Teknik
7. Desain Struktur Baja

3.5 Data Perencanaan Perhitungan Struktur

Perencanaan struktur *Original Beam* dan rekayasa *Honeycomb Beam* dari pembebanan, asumsi profil elemen, perhitungan gaya - gaya dalam, dan desain elemen struktur didesain terhadap beban-beban dengan metode perhitungan adalah sebagai berikut :

- Pembebanan : beban mati, beban hidup dan beban gempa
- Hasil Perhitungan profil *Original Beam*
- Hasil Perhitungan profil *Honeycomb Beam*
- Analisa hasil perhitungan lendutan, tegangan, bead profit, dan gaisik
- Kesimpulan analisis perhitungan

3.6 Data Peraturan

Parameter pembebanan adalah sebagai berikut :

Berat jenis beton	= 24,00	kN/rn ³
Berat jenis profil baja	= 78,50	kN/rn ³
Berat ubin per cm	= 0,24	kN/rn ²
Berat adukan per cm	= 0,21	kN/rn ²
Berat plafond	= 0,11	kN/rn ²
Berat rangka plafond	= 0,07	kN/rn ²
Berat dinding bata	= 2,50	kN/rn ²
Beban hidup	= 2,50	kN/rn ²

3.7 Dimensi Balok

1. Pelat

Tebal pelat lantai beton 120 mm

2. Balok

Bentang yang digunakan untuk di analisis penampang adalah bentang 6, 8, 10, 12 dan. 14m. Dimensi balok yang digunakan pada analisis struktur perbandingan *Original Beam* dan *Honeycomb Beam* dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2

Tabel 1 Profil Baja *Original Beam (OR)*

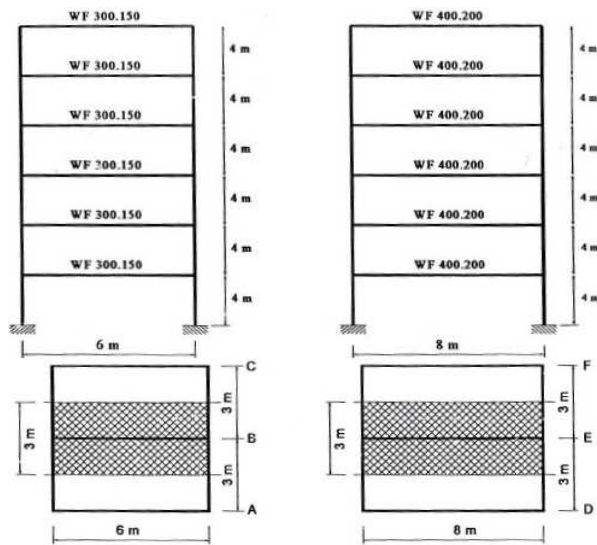
Bentang (m)	<i>Original Beam</i> Lantai 1 - 6	Kolom Lantai 1 - 6
6	WF 300.150.6.5.9	WF 250.175.7.11
8	WF 400.200.7.11	WF 300.200.9.14
10	WF 500.200.9.14	WF 400.200.8.13
12	WF 600.200.12.20	WF 450.200.9.14
14	WF 600.300.13.23	WF 600.200.12.20

Tabel 2 Profil Baja *Castellated Beam/ Honeycomb Beam (HB)*

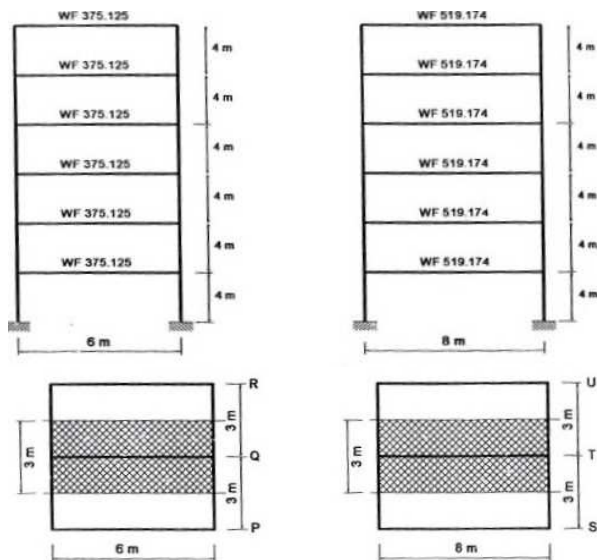
Bentang (m)	<i>Honeycomb Beam</i> Lantai 1 - 6	<i>Original Beam</i> Lantai 1 - 6	Kolom Lantai 1 - 6
6	WF 375.125.6.9	WF 300.150.6.5.9	WF 250.175.7.11
8	WF 519.174.6.9	WF 400.200.7.11	WF 350.175.7.11
10	WF 595.199.7.11	WF 500.200.9.14	WF 450.200.9.14
12	WF 675.200.9.14	WF 600.200.12.20	WF 500.200.11.19
14	WF 750.200.10.16	WF 600.300.13.23	WF 500.300.11.15

3.8 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur yang akan dianalisis pada penelitian ini dibagi menjadi dua model yaitu model *Original Beam* dan model *Honeycomb Beam* seperti pada Gambar 11 dan Gambar 12 dibawah ini.



Gambar 11 Model Struktur *Original Beam*



Gambar 12 Model Struktur *Honeycomb Beam*

3.8.1 Material

Material yang digunakan dari bahan baja, maka diberikan spesifikasi bahan baja :

1. Massa Jenis Material : 7,98 kN/m³
2. Berat Jenis Material : 76,9 kN/m³
3. Modulus Elastisitas Baja : 1,9e8 kN/m³
4. Poisson Ratio : 0,30
- 5.
6. Tegangan Leleh Baja : 240 MPa
7. Tegangan Putus Baja : 400 MPa

3.8.2 Pembebanan

Beban yang direncanakan dalam konstruksi sistem *Original Beam* (OB) maupun dengan sistem *Honeycomb Beam* (HB) ini adalah Berdasarkan Pedoman

Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPPURG) 1987.

1. Lantai 1 - 6

Beban Mati (Dead Load)

Berat Sendiri	= 0,12 x 24 x 3,0	= 8,64	kN/m
Pelat t=12cm			
Adukan	= 3 x 0,21 x 3,0	= 1,89	kN/m
Keramik	= 2 x 0,24 x 3,0	= 1,44	kN/m
Rangka & Plafond	= 0,18 x 3,0	= 0,54	kN/m
M/E		= 0,35	kN/m
Total Beban Mati		= 12,86	kN/m

Beban Hidup (Live Load)

Beban Hidup	= 2,5 x 3,0	= 7,50	kN/m
-------------	-------------	--------	------

Kombinasi Beban Beban Statis

1. 1,4 DL
2. 1,2DL+1,6LL

Beban Dinamis

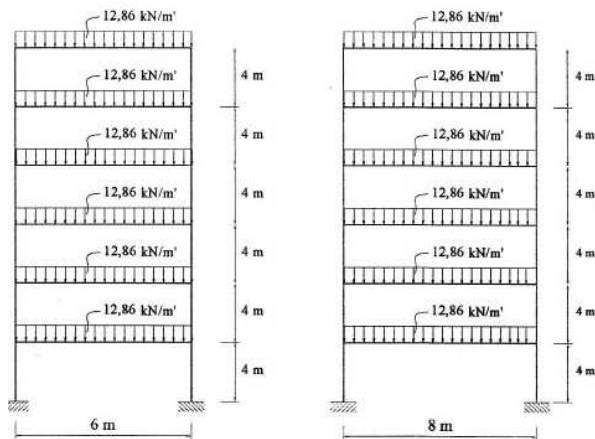
1. 0,9 DL ± 1,0 EL
2. 1,2 DL ± 1,0 EL
3. 1,2 DL+0,5 LL±1,0 E

Input data beban mati dan beban hidup pada sistem stniktur *Original Beam* (OB) maupun pada sistem struktur *Honeycomb Beam* (FIR) diberikan dalam bentuk Tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 3 Beban Mati dan Beban Hidup

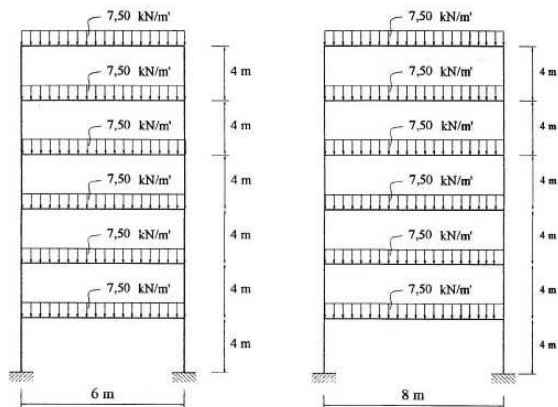
Bentang Beban	Bentang 6 m (kN/m')	Bentang 8 m (kN/m')	Bentang 10 m (kN/m')	Bentang 12 m (kN/m')	Bentang 14 m (kN/m')
Beban Mati (DL) Lantai 1 - 6	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86
Beban Hidup (LL) Lantai 1 - 6	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50

Model pembebanan struktur akibat Beban Mati *Original Beam* dan *Honeycomb Beam* dapat dilihat pada Gambar 13.



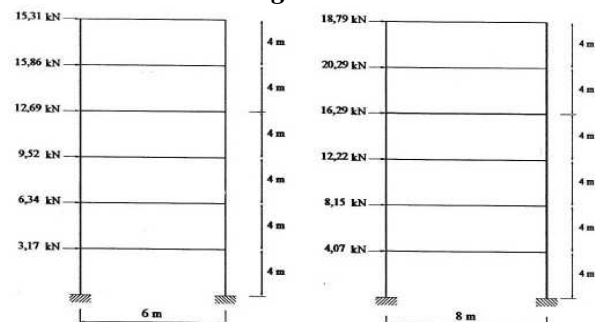
Gambar 13 Model Beban Mati Balok *Original Beam* dan *Honeycomb Beam*

Model pembebanan struktur Beban Hidup *Original Beam* dan *Honeycomb Beam* dapat dilihat pada Gambar 14.

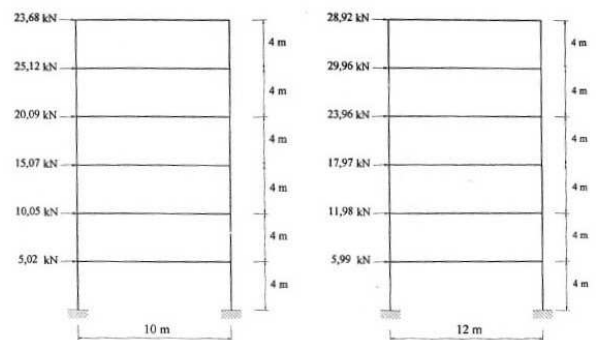


Gambar 14 Model Beban Hidup Balok *Original Beam* dan *Honeycomb Beam*

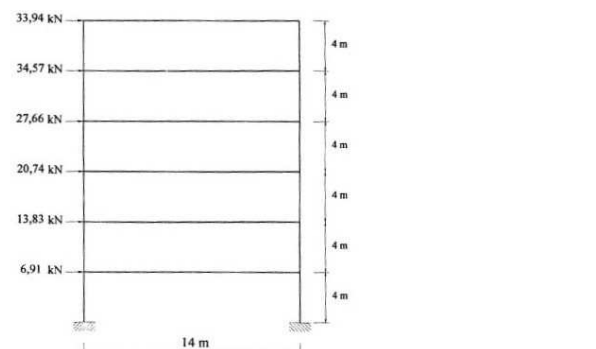
3.8.3 Perhitungan Beban Gempa Struktur *Original Beam*



Gambar 15 Model Beban Gempa Struktur *Original Beam* Bentang 6 meter dan 8 meter

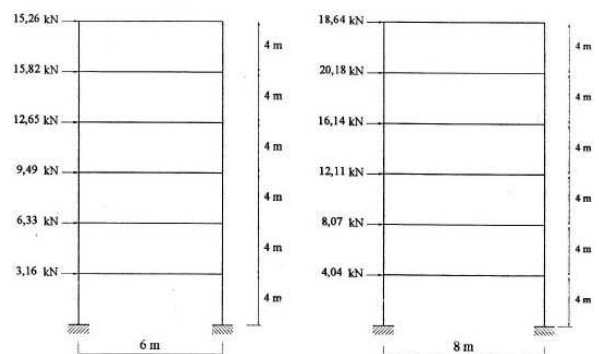


Gambar 16 Model Beban Struktur *Original Beam* Gempa Bentang 10 meter dan 12 meter

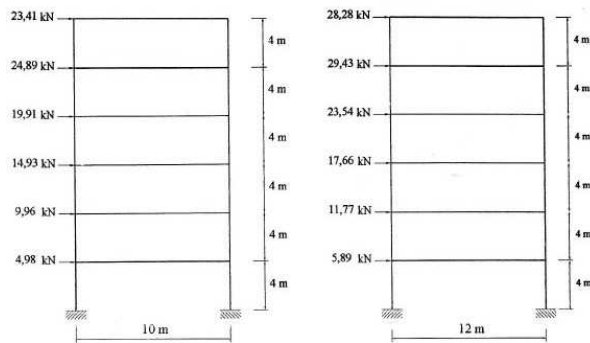


Gambar 17 Model Beban Struktur *Original Beam* Gempa Bentang 14 meter

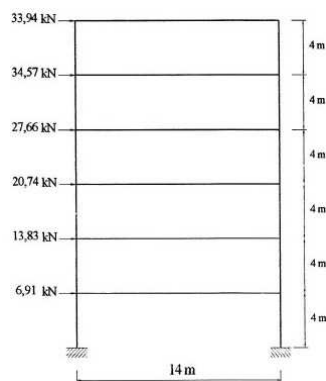
3.8.4 Perhitungan Beban Gempa Struktur *Honeycomb Beam*



Gambar 18 Model Beban Gempa Struktur *Honeycomb Beam* Bentang 6 meter dan 8 meter



Gambar 19 Model Beban Gempa Struktur Honeycomb Beam Bentang 10 meter dan 12 meter



Gambar 20 Model Beban Gempa Struktur Honeycomb Beam Bentang 14 meter

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data Perhitungan Struktur

Analisis struktur dan model yang direncanakan dikerjakan dengan bantuan program komputer SAP2000, untuk memperoleh gaya-gaya dalam (*Internal Forces*). Hasil dari seluruh perbitungan elemen struktur portal *Original Beam (OB)* dan *Honeycomb Beam (HB)*. Dengan rnenbandingkan antara *Original Beam* dengan *Honeycomb Beam*.

4.1.1. Dimensi Balok

Dimensi balok sesuai yang digunakan pada analisis struktur baja *Original Beam* dan *Honeycomb Beam* untuk masing-masing bentang dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5 dibawah ini :

Tabel 4 Profil Baja *Original Beam (OB)*

No.	Bentang (m)	<i>Original Beam</i> Lantai 1 – 6	Kolom Lantai 1 – 6
1	6	WF 300.150.6.5.9	WF 250.175.7.11
2	8	WF 400.200.7.11	WF 350.175.7.11
3	10	WF 500.200.9.14	WF 450.200.9.14
4	12	WF 600.200.12.20	WF 500.200.11.19
5	14	WF 600.300.13.23	WF 500.300.11.15

Tabel 5 Profil Baja *Honeycomb Beam (HB)*

No.	Bentang (m)	<i>Honeycomb Beam</i> Lantai 1-6	<i>Original Beam</i> Lantai 1 - 6	Kolom Lantai 1 - 6
1	6	WF 375.125.6.9	WF 300.150.6.5.9	WF 250.175.7.11
2	8	WF 519.174.6.9	WF 400.200.7.11	WF 350.175.7.11
3	10	WF 595.199.7.11	WF 500.200.9.14	WF 450.200.9.14
4	12	WF 675.200.9.14	WF 600.200.12.20	WF 500.200.11.19
5	14	WF 750.200.10.16	WF 600.300.13.23	WF 500.300.11.15

4.1.2 Perbandingan Tegangan antara Original Beam Vs Honeycomb Beam

Perbandingan Tegangan *Original Beam (OB)* dengan Tegangan Ijin dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Perbandingan Tegangan *Original Beam Vs Tegangan Ijin*

Bentang (m)	<i>Original Beam</i>		Tegangan Ijin σ_{ijin}	Prosentase Perbedaan (%) $((3)-(2))/(3)$
	Profil (1)	Tegangan (σ terjadi) (2)		
6	WF 300	0,738	1,00	26,20
8	WF 400	0,662	1,00	33,80
10	WF 500	0,859	1,00	14,10
12	WF 600	0,841	1,00	15,90
14	WF 600	0,703	1,00	29,70

Perbandingan Tegangan *Honeycomb Beam (HB)* dengan Tegangan Ijin dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Perbandingan Tegangan *Honeycomb Beam Vs Tegangan Ijin*

Bentang (m)	<i>Honeycomb Beam</i>		Tegangan Ijin σ_{ijin}	Prosentase Perbedaan (%) $((3)-(2))/(3)$
	Profil (1)	Tegangan (σ terjadi) (2)		
6	WF 375	0,940	1,00	6,00
8	WF 519	0,820	1,00	18,00
10	WF 595	0,896	1,00	10,40
12	WF 675	0,901	1,00	9,90
14	WF 750	0,938	1,00	6,20

Perbandingan Tegangan yang terjadi pada tipe struktur *Original Beam* dan tipe struktur *Honeycomb Beam* ditunjukkan pada Tabel 6 dan Tabel 7 dimana perbandingan tegangan yang terjadi masih dibawah Tegangan Ijin. Sehingga dari hasil perhitungan tegangan yang terjadi cukup aman karena semua perbedaan prosentase masih dibawah Tegangan ijin. Pada Tabel 8 dibawah ini

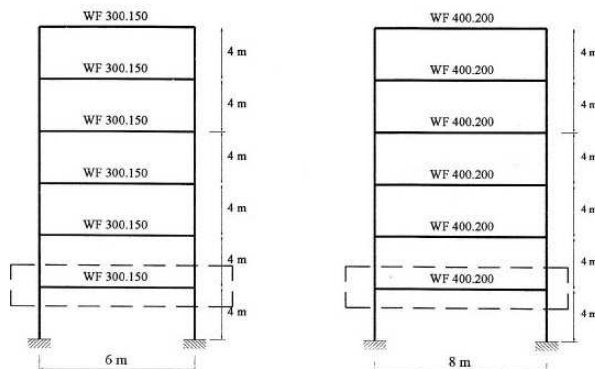
menjelaskan perbandingan tegangan antara *Original Beam Vs Honeycomb Beam*,

Tabel 8 Perbandingan Tegangan antara *Original Beam Vs Honeycomb Beam*.

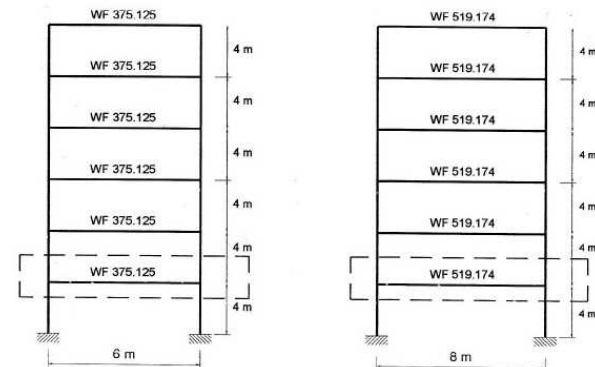
Bentang (m)	Original Beam		Honeycomb Beam		Persentase Perbedaan (%) $((4)-(2))/(2)$
	Profil (1)	Tegangan (σ terjadi) (2)	Profil (3)	Tegangan (σ terjadi) (4)	
6	WF 300	0,738	WF 375	0,940	27,37
8	WF 400	0,662	WF 519	0,820	23,87
10	WF 500	0,859	WF 595	0,896	4,31
12	WF 600	0,841	WF 675	0,901	7,13
14	WF 600	0,703	WF 750	0,938	33,43

Prosentase perbedaan perbandingan tegangan terjadi pengcilan pada bentang 10m dan 12m sedangkan dari bentang 6m, 8m dan 14m perbedaan tegangan relatif besar. Sehingga dapat disimpulkan semakin lebar bentang tidak berarti diikuti oleh besarnya tegangan akan tetapi malah sebaliknya bertambah kecil dibuktikan pada bentang 10m dan 12m.

Perbandingan tegangan (*Stress Ratio*) antara tipe struktur *Original Beam* dan tipe struktur *Honeycomb Beam* hanya ditinjau pada lantai satu, permodelannya dapat dilihat pada Gambar 21 dan Gambar 22 dibawah ini :

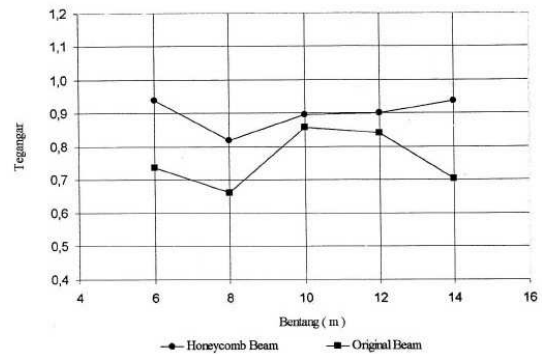


Gambar 21 Peninjauan Tegangan Balok Lantai Satu pada Struktur *Original Beam*



Gambar 22 Peninjauan Tegangan Balok Lantai Satu pada Struktur *Honeycomb Beam*

Perbandingan Tegangan antara tipe struktur *Original Bean Vs Honeycomb Beam* dapat di lihat pada Gambar 23 dibawah ini



Gambar 23 Grafik Perbandingan Tegangan *Original Beam Vs Honeycomb Beam*

4.1.3 Lendutan Akibat pada *Honeycomb Beam*

Tabel 9 dan Tabel 10 dibawah ini dengan meninjau lendutan maksimum ditengah bentang yang terjadi pada balok lantai 1 (satu) dan untuk lebih jelasnya dapat dilihat pemodelan strukturnya pada Gambar 21 dan pada Gambar 22.

Tabel 9 Prosentase Perbedaan *Original Beam Vs Lendutan Ijin*

Bentang (m)	Original Beam		Lendutan Ijin δ_{ijin} (cm) (3)	Persentase Perbedaan (%) $((3)-(2))/(3)$
	Profil (1)	Lendutan (δ terjadi) (cm) (2)		
6	WF 300	0,627	2,40	73,88
8	WF 400	0,616	3,20	80,75
10	WF 500	0,781	4,00	80,48
12	WF 600	0,307	4,80	93,60
14	WF 600	0,440	5,60	92,14

Tabel 9 prosentase perbedaan Lendutan *Original Beam* hasilnya memenuhi syarat karena masih jauh dibawah hasil lendutan ijin sehingga cukup aman.

Hasil Prosentase Perbedaan antara *Honeycomb Beam Vs Lendutan Ijin* dapat dilihat pada Tabel 10 dibawah ini :

Tabel 10 Prosentase Perbedaan *Honeycomb Beam Vs Lendutan Ijin*

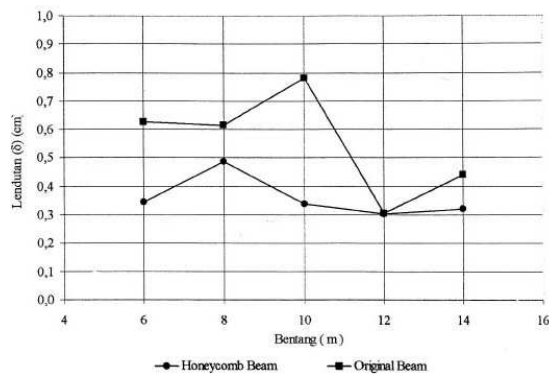
Bentang (m)	Honeycomb Beam		Lendutan Ijin δ_{ijin} (cm) (3)	Persentase Perbedaan (%) $((3)-(2))/(3)$
	Profil (1)	Lendutan (δ terjadi) (cm) (2)		
6	WF 375	0,345	2,40	85,62
8	WF 519	0,487	3,20	84,78
10	WF 595	0,338	4,00	91,55
12	WF 675	0,304	4,80	93,67
14	WF 750	0,320	5,60	94,29

Hasil Prosentase Perbedaan Lentutan antara *Honeycomb Beam* Vs *Original Beam* dapat dilihat pada Tabel 11 dibawah ini :

Tabel 11 Prosentase Perbedaan Lentutan antara *Original Beam* Vs *Honeycomb Beam*

Bentang (m)	<i>Original Beam</i>		<i>Honeycomb Beam</i>		Prosentase Perbedaan (%)
	Profil (1)	Lentutan (δ) (cm) (2)	Profil (3)	Lentutan (δ) (cm) (4)	
6	WF 300	0,627	WF 375	0,345	44,98
8	WF 400	0,616	WF 519	0,487	20,94
10	WF 500	0,781	WF 595	0,338	56,72
12	WF 600	0,307	WF 675	0,304	1,00
14	WF 600	0,440	WF 750	0,320	27,27

Tabel 11 diatas memperlihatkan bahwa hasil prosentasi perbedaan lentutan yang terjadi pada tipe struktur *Original Beam* lebih besar jika dibandingkan dengan lentutan yang terjadi pada tipe struktur *Honeycomb Beam*. Tetapi penggunaan tipe struktur *honeycomb Beam* hasil lentutannya lebih kecil jika dibandingkan dengan tipe struktur *Original Beam* yang perbedaanya rata-rata mencapai 30,18%. Hasil Perbandingan Lentutan *Original Beam* Vs *Honeycomb Beam* dapat dilihat pada Gambar 24 dibawah ini :



Gambar 24 Grafik Perbandingan Lentutan *Original Beam* Vs *Honeycomb Beam*

Pada Gambar 24 menunjukkan bahwa lentutan pada tipe struktur *Original Beam* terjadi naik turun yang sangat tajam khususnya pada bentang 10m, 12m dan 14m ini disebabkan oleh pemilihan profil baja, kemudian sama halnya dengan lentutan yang terjadi pada tipe struktur *Honeycomb Beam* adanya naik turun. Kemudian pada bentang 12 meter pada tipe struktur *Honeycomb Beam* hampir berimpit dengan tipe struktur *Original Beam* ini membuktikan bahwa pemilihan profil

pada kedua balok tersebut sangat berpengaruh terhadap lentutan yang terjadi.

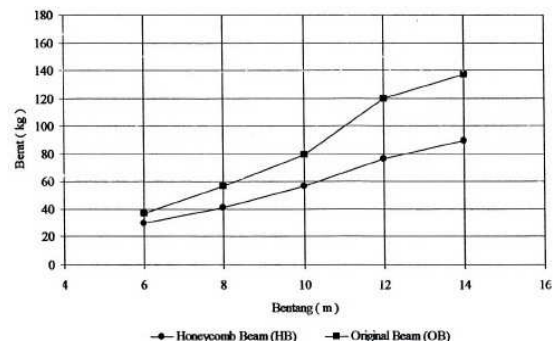
4.1.4 Konsumsi Berat Profile Baja

Perbedaan profil antara balok *Original Beam* maupun *Honeycomb Beam* dapat dilihat pada Tabel 12 dibawah :

Tabel 12 Konsumsi Profil Baja Terhadap Bentang

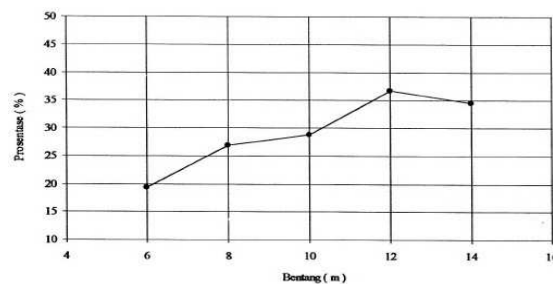
Bentang (m)	<i>Original Beam</i> Profil (1)	Berat (kg/m) (2)	<i>Honeycomb Beam</i> Profil (3)	Berat (kg/m) (4)	Prosentase Perbedaan (%) (2)-(4)/(2)
6	WF 300	36,7	WF 375	29,6	19,35
8	WF 400	56,6	WF 519	41,4	26,86
10	WF 500	79,5	WF 594	56,6	28,81
12	WF 600	120,0	WF 675	76,0	36,67
14	WF 600	137,0	WF 750	89,6	34,60

Dari Tabel 12 dapat dilihat bahwa penggunaan tipe struktur *Honeycomb Beam* dapat memperkacil dimensi dan berat profil yang digunakan mulai dari bentang 6 meter - 14 meter. Dengan demikian terbukti dari basil analisis bahwa penggunaan tipe struktur *Honeycomb Beam* dapat menghemat berat profil baja yang digunakan dibandingkan dengan tipe struktur *Original Beam*. Penghematan yang dihasilkan pada Tabel 4.9 berbanding lurus dengan perbandingan bentang, lihat Gambar 25



Gambar 25 Grafik Konsumsi Baja Terhadap Bentang

Hasil Prosentase Perbedaan Konsumsi Bahan *Original Beam* Vs *Honeycomb Beam* dapat dilihat pada Gambar 26 dibawah ini :



Gambar 26 Grafik Prosentase Perbedaan Konsumsi Bahan *Original Beam* Vs *Honeycomb Beam*

Gambar 26 Grafik Prosentase Perbedaan konsumsi bahan *Original Beam* Vs *Honeycomb Beam* ada kenaikan pada bentang 12 meter menunjukkan adanya efisiensi penggunaan profil baja. Oleh karena itu sangat efektif pada bentang lebar menggunakan tipe struktur *Honeycomb Beam* jika dibandingkan dengan tipe struktur *Original Beam* yaitu prosentase perbedaannya mencapai 29,26%.

4.2 Pembahasan

Dari Grafik 23 tentang perbandingan tegangan yang terjadi antara tipe struktur *Original Beam* dan tipe struktur *Honeycomb Beam* relatif kecil dan masih dalam batas aman jika dibandingkan dengan Tegangan Ijin. Ini dikarenakan momen maksimum yang dihasilkan oleh tipe struktur *Original Beam* dan tipe struktur *Honeycomb Beam* tidak terlalu besar sehingga *Stress Ratio* yang terjadi tidak melampaui Tegangan Ijin. Dan perbedaan prosentase tegangan yang dihasilkan oleh tipe struktur *Original Beam* rata-rata hanya 23,94 % terhadap Tegangan Ijin, sedangkan untuk tipe struktur *Honeycomb Beam* perbedaan prosentasenya rata-rata 10,10% terhadap Tegangan Ijin. Lendutan yang terjadi pada tipe struktur *Honeycomb Beam* relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan tipe struktur *Original Beam* ini dikarenakan adanya pembesaran badan balok *Open-Web Expanded Beam* hingga lendutan yang dihasilkannya sangat kecil. Untuk kedua tipe struktur tersebut dapat dikatakan besarnya bentang diikuti oleh besarnya lendutan, akan tetapi semakin besar bentang perbedaan prosentase semakin kecil yaitu 1,00% ini terjadi pada bentang 12 meter dan dapat dilihat pada Tabel 11.

Kemudian pada Tabel 12 menjelaskan berat total penggunaan konsumsi bahan profil baja dengan perbedaan prosentase antara tipe struktur *Original Beam* dan tipe struktur *Honeycomb Beam* adalah sebagai berikut :

- Bentang 6 meter = 19,35%
- Bentang 8 meter = 26,86%
- Bentang 10 meter = 28,81%
- Bentang 12 meter = 36,67%
- Bentang 14 meter = 34,60%

Dengan hasil ini dapat diambil kesimpulan sementara, bahwa tipe struktur *Honeycomb Beam* memberikan keuntungan konsumsi bahan profil baja sampai 36,67% dengan rata-rata perbedaan sebesar 29,26% jika dibandingkan dengan tipe struktur *Original Beam* oleh karena itu penelitian ini terbukti bahwa secara analisis penggunaan tipe struktur *Honeycomb Beam* lebih ekonomis dibandingkan dengan tipe struktur *Original Beam*.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil studi kasus perbandingan ini adalah sebagai berikut :

1. Dari hasil analisis bahwa Perbandingan Tegangan (*Stress Ratio*) antara tipe struktur *Honeycomb Beam* dan tipe struktur *Original Beam* masih dalam batas aman terhadap tegangan ijin
2. Kenaikan kapasitas tegangan yang terjadi pada tipe struktur *Honeycomb Beam* terhadap tipe *Original Beam* prosentase perbedaan antara 4,31% sampai dengan 33,43%, kemudian perbedaan prosentase rata - rata mencapai 19,22% (ada pada tipe struktur *Original Beam*,
3. Lendutan yang terjadi pada tipe Struktur *Honeycomb Beam* dan tipe struktur *Original Beam* masih dibawah Lendutan ijin sehingga balok cukup aman. Dengan menggunakan *Honeycomb Beam* dapat mengurangi lendutan rata - rata sampai 30,18 % jika dibandingkan dengan *Original Beam*
4. Dan hasil penelitian, diketahui bahwa penggunaan sistem rekayasa *Honeycomb Beam* dapat menghemat bahan sampai 36,67% dibandingkan dengan *Original Beam*,

5. Pada bentang 10,12 dan 14 meter prosentase bahan tipe Struktur *Honeycomb Beam* tetap ekonomis jika dibandingkan dengan tipe Struktur *Original Beam* dengan perbedaan prosentase antara 19,35% sampai dengan 36,67%
6. Pada bentang 12 m pemakaian profil baja pada Struktur *Honeycomb Beam* relatif kecil jika dibandingkan dengan tipe Struktur *Original Beam* sehingga membuat bentang tersebut lebih ekonomis walaupun bentang lebar tetapi dimensi kecil
7. Secara umum bahwa, ditinjau dari konsumsi pemakaian baja sistem penggunaan *Honeycomb Beam* lebih ekonomis dibandingkan dengan *Original Beam*.

5.2 Saran

Pada analisis efek penggunaan *Honeycomb Beam* pada bangunan Gedung Bertingkat Bentang Lebar, yaitu membandingkan desain profil baja *Original Beam* ini disarankan :

1. Dalam menganalisis kedua model struktur ini hanya meninjau balok dilantai 1 sehingga dapat dilanjutkan dengan balok paling atas
2. Referensi dalam menganalisis tidak terikat oleh satu produk saja dan dapat juga memodifikasi tipe *Honeycomb Beam* sesuai dengan kebutuhan bentang yang dianalisis tidak terbatas pada bentang 14 meter.

DAFTAR PUSTAKA

1. Charles G. Salmon dan E. Johnson. "*Desain Struktur Baja*", Universitas of Washington,
2. Departemen Pekerjaan Umum, (1987), "*Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (SKBI-1.3 "1987")*", Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta
3. Direktorat Penyelidikan Masalah Rangunan, (1984). "*Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia 1984*", Yayasan Lembaga
4. Penyelidikan Masalah Baru Jakarta Direktorat Pekerjaan Umum, (1987). "*Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung (S101-1.3.5,3 1987)*", Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta,
5. Hadi Pramono, (2004). "*Struktur 2D dan 3D dengan SAP2000*", CV. Maxikom, Palembang
6. Irwan K. Haryadi dan Leny Yusento, (2004), "*Efek Bangunan Kolom Tengah pada Bangunan Indusiri Bentang Lebar*," Jurnal Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan, Jakarta
7. K.Muto, (1963), "*Analisis Perancangan Gedung Tahan Gempa*, Universitas of Tokyo, Jepang
8. Leonardo Spiegel dan George F. Limbrunner, (1986), "*Struktur Baja*", Universitas Kristen of Washington.
9. Oentoeng, (1999) "*Konstruksi Baja*", Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Kristen PETRA Surabaya
10. W.C Vis dan Gideon Kusuma "*Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang*", Universitas Kristen PETRA Surabaya