

## STUDI PERBANDINGAN PERENCANAAN STRUKTUR BAJA MENGUNAKAN PROFIL BIASA DAN PROFIL KASTELA PADA PROYEK GEDUNG PGN DI SURABAYA

**Indra Lukmansa**

Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya  
email: sipil@untag-sby.ac.id

### Abstrak

Material konstruksi yang paling populer saat ini adalah baja, material ini merupakan komponen utama dari bangunan-bangunan di dunia, khususnya bangunan tinggi. Balok kastela merupakan balok tampang I atau WF dengan lubang atau bukaan pada badan, dimanfaatkan untuk duct work, instalasi perpipaan, dan lain-lain, menggantikan cara konvensional yaitu dengan menggantung pipa atau duct pada balok. Adapun tujuan penulisan tersebut adalah: Untuk mengetahui hasil perencanaan menggunakan balok baja kastela. Untuk mengetahui penggunaan antara balok baja kastela dan balok baja biasa, mana yang lebih ekonomis. Pada penelitian terdahulu yaitu pada Karya Ilmiah Tugas Akhir S1 (Strata 1) milik Indra Lukmansa, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Tahun 2013. Telah dibuat kesimpulan untuk Tugas Akhir S1. Dalam perencanaan struktur baja biasa untuk profil kolom menggunakan profil H 350.175.7.11 untuk lantai 1 dan 2, profil 300.150.6,5.9 untuk lantai 3 dan 4, dan 250.125.6.9 untuk lantai atap. Untuk profil balok menggunakan profil WF 300.150.6,5.9. Keunggulan konstruksi baja antara lain: mempunyai kekuatan yang tinggi, keseragaman dan keawetan yang tinggi, sifat elastis, daktilitas baja cukup tinggi, dan beberapa keuntungan lain pemakaian baja sebagai material konstruksi adalah kemudahan penyambungan antarelemen yang satu dan yang lainnya menggunakan alat sambung las atau baut. Langkah penyelesaian masalah: gambar prarencana, menghitung pembebanan bangunan, menghitung beban gempa, analisa pembebanan, dan control stabilitas. Dalam metode kastela tidak diperlukan penambahan elemen pada baja profil. Secara umum sudut yang digunakan minimum sebesar  $45^\circ$  dan maksimum sebesar  $70^\circ$ , sedangkan yang paling sering digunakan adalah sudut  $45^\circ$  dan  $60^\circ$ . Dari hasil perencanaan maka telah didapatkan semua perencanaan struktur baja menggunakan profil kastela. Yaitu untuk profil kolom menggunakan profil H 250.175.7.11. Untuk profil balok menggunakan profil WF 175.90.5.8. Dijadikan bentuk kastela menjadi profil 264.90.5.8. Sedangkan dilihat dari segi ekonomisnya. Biaya total menggunakan struktur baja kastela adalah Rp.1.307.358.000,-. Sedangkan biaya total menggunakan struktur baja biasa adalah Rp. 1.791.453.000,-. Maka dari itu Selisih harga antara penggunaan struktur baja biasa dengan struktur baja kastela adalah Rp.484.095.000,-. Atau dengan perbandingan 1/1,4. Maka dapat disimpulkan kembali bahwa pekerjaan struktur baja kastela lebih ekonomis materialnya dibanding daripada baja biasa, jika ditinjau dari berat sendiri bangunan total. Hal ini menunjukkan bahwa pekerjaan struktur baja kastela lebih ekonomis. Mengingat berat sendiri bangunan sangat berpengaruh terhadap gaya yang dihasilkan dari berat bangunan itu sendiri, semakin besar berat bangunan, maka semakin besar pula gaya yang ditimbulkan.

**Kata kunci:** Kastela, Profil H.

### I. PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Material konstruksi yang paling populer saat ini adalah baja, material ini merupakan komponen utama dari bangunan-bangunan di dunia, khususnya

bangunan tinggi. Baja merupakan salah satu bahan yang sangat banyak dipakai di seluruh dunia untuk keperluan kehidupan manusia, khususnya di dunia industri. Ditemukan buat pertama kali oleh orang Mesir lebih dari 4000 tahun yang lalu untuk perhiasan dan alat rumah tangga yang kemudian berkembang menjadi bahan berharga dan dimanfaatkan orang setiap hari saat ini. Untuk menjadikan baja, banyak proses yang dilakukan, sehingga membutuhkan ilmu pengetahuan dan teknologi agar dapat dipakai dalam berbagai keperluan.

### 1.2. Tujuan Penelitian

- Untuk mengetahui hasil perencanaan balok baja kastela.
- Untuk mengetahui penggunaan antara balok baja kastela dan balok baja biasa, mana yang lebih ekonomis.

### 1.3. Metode Penelitian

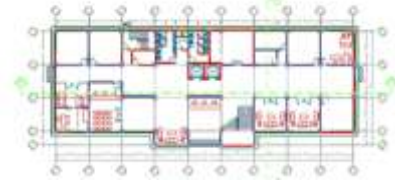
Penelitian pada dasarnya merupakan suatu upaya sistematis guna memperoleh pengetahuan yang dapat digunakan untuk menjawab pertanyaan atau permasalahan yang dimunculkan dalam penelitian oleh peneliti. Upaya sistematis itu sendiri adalah prosedur yang disusun berdasarkan aturan-aturan tertentu atau aturan-aturan ilmiah. Penelitian ini muncul karena adanya suatu masalah dan dari masalah itu pula, muncul berbagai pertanyaan yang memerlukan jawaban yang rasional. Jawab-an-jawaban tersebut harus dengan cara ilmiah, maksudnya adalah jawaban atas pertanyaan benar-benar bisa dipertanggungjawabkan. Dalam suatu penelitian tentunya mempunyai tujuan yang hendak dicapai. Namun demikian, dalam pencapaian tujuan itu hendaknya harus melalui suatu cara pencapaian yang perlu ditempuh untuk maksud tersebut. Oleh karena itu, penelitian yang mempunyai arti sebagai usaha untuk menemukan, mengembangkan dan menguji kebenaran suatu pengetahuan dan usaha-usaha ini dilakukan dengan menggunakan metode-metode ilmiah.

## II. KAJIAN PUSTAKA

Dalam perencanaan bangunan struktur baja ini terdiri dari beberapa tatacara, diantaranya:

### 2.1 Gambar Prarencana

Untuk bisa menghitung bangunan harus ada gambar yang akan direncanakan, guna untuk menghitung jumlah volume yang akan dikerjakan/ direncanakan.



Gambar 2.1 Gambar denah prarencana

### 2.2 Menghitung Pembebanan Bangunan

Bangunan tidak hanya menerima vertikal dari atas, tetapi bangunan juga bisa menerima beban horisontal, yaitu beban gempa. Untuk menghitung beban gempa, maka harus dihitung berat bangunan itu, baik beban mati maupun beban hidup. Menghitung berat bangunan itu guna untuk mengetahui berat bangunan setiap lantai hingga berat bangunan total yang bertujuan untuk menghitung beban gempa/ gaya gempa.

### 2.3 Menghitung Beban Gempa

Setelah berat bangunan diketahui, bisa dilanjutkan untuk menghitung beban gempa. Menghitung gempa bertujuan untuk mengetahui gaya horisontal yang timbul pada bangunan tersebut. Dengan adanya gaya horisontal yang berasal dari suatu kegempaan, maka bisa dikatakan bahwa bangunan struktur yang direncanakan tersebut merupakan bangunan tahan gempa.

### 2.4 Analisa Pembebanan

Beban vertikal dan beban horisontal telah didapat, maka bisa diinput ke dalam *software* untuk mengetahui gaya-gaya *axial*, bidang geser, dan momen. Untuk *software* menggunakan SAP 2000 *version*

14. Untuk pembebanan digunakan metode kombinasi dari tiap-tiap jenis beban dengan dikalikan faktor pembebanannya. Kombinasi pembebanan sebagai berikut:

**Tabel 2.1. Kombinasi Pembebanan**

1,4 DL
1,2 DL + 1,6 LL
1,2 DL + LL ± E
DL = Dead Load (Beban Mati) LL = Live Load (Beban Hidup) WL = Wind Load (Beban Angin) E = Earthquake Load (Beban Gempa)

Setelah nilai gaya *axial*, bidang geser, dan momen dihasilkan lalu dihitung menggunakan rumus berdasarkan buku LRFD (*Low Resistance and Factor Design*) yang mengacu pada aturan SNI 03-1729-2002.

## 2.5 Kontrol Stabilitas

### 2.5.1 Perhitungan beban terfaktor

Setelah gaya-gaya dalam didapatkan, maka gaya-gaya tersebut digunakan untuk menghitung kontrol stabilitas. Di dalam perhitungan beban terfaktor ini digunakan untuk menentukan gaya-gaya dalam yang terfaktor, maksudnya kombinasi antara beban-beban yang terjadi. Akan tetapi di dalam perhitungan ini, beban terfaktor didapatkan bukan dari rumus di bawah ini, tetapi hasil dari *output software* SAP 2000.

Beban terfaktor di bawah ini dibagi menjadi dua kombinasi, yaitu:

### 2.5.2 Kombinasi 1, tak bergoyang

Kombinasi tak bergoyang ini merupakan kombinasi beban yang tidak dipengaruhi beban horizontal (beban gempa), tetapi hanya dipengaruhi oleh beban-beban vertikal saja (beban hidup dan mati). Rumus-rumus di bawah ini berdasarkan literatur LFRD SNI 03-1729-2002 halaman 258.

$$Nu = 1,2 ND + 1,6 NL \dots\dots(2.1)$$

Dimana:

Nu = gaya tekan axial terfaktor

ND = gaya tekan axial untuk beban mati

NL = gaya tekan axial untuk beban hidup

$$qu = 1,2 qD + 1,6 qL \dots\dots(2.2)$$

Dimana:

qu = beban merata terfaktor

qD = beban merata beban mati

qL = beban merata beban hidup

### 2.5.3 Kombinasi 2, portal bergoyang

Kombinasi portal bergoyang ini merupakan kombinasi beban yang dipengaruhi oleh seluruh beban yaitu beban horizontal (beban gempa), dan beban-beban vertikal (beban hidup dan mati). Rumus-rumus di bawah ini berdasarkan literatur LFRD SNI 03-1729-2002 halaman 259.

$$Nu = 1,2 ND + 0,5 NL \dots(2.3)$$

Dimana:

Nu = gaya tekan axial terfaktor

ND = gaya tekan axial untuk beban mati

NL = gaya tekan axial untuk beban hidup

$$qu = 1,2 qD + 0,5 qL \dots\dots(2.4)$$

Dimana:

qu = beban merata terfaktor

qD = beban merata beban mati

qL = beban merata beban hidup

$$Hu = 1,3 H \dots\dots(2.5)$$

Dimana:

Hu = gaya horisontal terfaktor

H = gaya horisontal

### 2.5.4 Aksi kolom

Perencanaan struktur balok – kolom, diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 11.3 yang menyatakan bahwa suatu komponen struktur yang mengalami momen lentur dan gaya aksial.

Faktor panjang efektif *kx*, ditentukan menggunakan faktor *G*:

$$GA = 1,0 \text{ (jepit)} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$GB = \frac{\sum(I/L) \text{ kolom}}{\sum(I/L) \text{ balok}} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$kx = 1,57 \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

G = faktor tumpuan

kx = panjang efektif

dalam arah y kolom diasumsikan tertumpu sendi di ujung atas dan bawahnya, sehingga *ky* = 1,0

$$kx \cdot Lx / rx \dots\dots\dots(2.9)$$

$$ky \cdot Ly / ry \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\lambda c = 1/\pi \cdot \frac{ky \cdot Ly}{ry} \cdot \sqrt{\frac{fy}{E}} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda c} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$Nn = Ag \cdot fcr \dots\dots\dots(2.13)$$

$$Nu / \phi \cdot Nn \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana:

Lx = panjang batang arah x (kolom)

Ly = panjang batang arah y (balok)

rx = radius of gyration (x)

ry = radius of gyration (y)

$\lambda$  = kelangsingan profil

fy = mutu baja

E = modulus elastisitas

Nn = gaya axial normal

Ag = luas penampang profil

$\phi$  = faktor reduksi tahanan tekan

### 2.5.5 Aksi balok

Untuk menentukan tahanan lentur rencana suatu profil, maka terlebih dahulu harus diperiksa kekompakan dari penampang tersebut. Dengan menggunakan notasi  $\lambda = h/t_w$ . Rumus-rumus di bawah ini berdasarkan SNI 03-1729-2002 pasal 11.7.

$$bf / 2 \cdot tf < \lambda p = 170 / \sqrt{fy} \dots\dots(2.15)$$

$$Nu / \phi b \cdot Ny \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\lambda p = 500 / \sqrt{fy} (2,33 - \frac{Nu}{\phi b \cdot Ny}) \geq$$

$$665 / \sqrt{fy} \dots\dots(2.17)$$

$$\lambda = h/t_w < \lambda p \dots\dots\dots(2.18)$$

$$Lp > L \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana:

bf = lebar profil

tf = tebal sayap profil

$\lambda p$  = penampang kompak

h = tinggi badan profil

tw = tebal badan profil

L = panjang bentang

Karena  $L < Lx$ , maka Mn dapat mencapai Mp

$$Mp = Zx \cdot fy \dots\dots\dots(2.20)$$

$$\Phi b \cdot Mn_x \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana:

Mp = momen primer

Zx = modulus of section

Mnx = momen nominal untuk lentur terhadap sumbu x

### 2.5.6 Pembesaran Momen, $\delta b$

Untuk suatu komponen struktur tak bergoyang, maka besarnya momen lentur terfaktor harus dihitung sebagai:

$$Mu = \delta b \cdot Mntu \dots\dots\dots(2.22)$$

Untuk menghitung  $\delta b$  diperlukan rasio kelangsingan dari portal tak bergoyang

$$kx \cdot Lx / rx \dots\dots\dots(2.23)$$

$$Cm = 0,6 - 0,4 (M1 / M2)$$

$$\dots\dots\dots(2.24)$$

$$Nel = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot Ag}{(k \frac{L}{r})^2} \dots\dots\dots(2.25)$$

Mntu adalah momen lentur terfaktor orde pertama yang diakibatkan oleh beban-beban yang tidak menimbulkan goyangan, sedangkan  $\delta b$  adalah faktor perbesaran momen untuk komponen struktur tak bergoyang, yang besarnya ditentukan sebagai berikut:

$$\delta b = \frac{Cm}{1 - \frac{Nu}{Nel}} \dots\dots\dots(6.26)$$

dimana:

Cm = faktor pembesaran momen

M = momen

Nel = gaya tekan menurut Euler dengan kL/r terhadap sumbu lentur dan  $k \leq 1,0$  (untuk komponen struktur tak bergoyang)

Rumus-rumus di atas berdasarkan SNI 03-1729-2002 pasal 11.5

### 2.5.7 Pembesaran momen, $\delta s$

$$Nel = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot Ag}{(k \frac{L}{r})^2} \dots\dots\dots(2.27)$$

Mltu adalah momen lentur terfaktor orde pertama yang diakibatkan oleh beban-beban yang dapat menimbulkan goyangan. Faktor perbesaran momen  $\delta s$ , ditentukan sebagai berikut:

$$\delta s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma Nu}{\Sigma Nel}} \dots\dots\dots(2.28)$$

untuk komponen struktur bergoyang, maka besarnya momen lentur terfaktor, harus diperhitungkan sebagai berikut:

$$Mux = \delta b \cdot Mntu + \delta \cdot Mltu \dots\dots(2.29)$$

$$Nu / \phi \cdot Nn + 8/9 (Mux / \phi b \cdot Mn_x) \leq 1,0 \dots\dots\dots(2.30)$$

Rumus-rumus di atas berdasarkan SNI 03-1729-2002 pasal 11.6.

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Rancangan Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini dilakukan dengan pengambilan data di lapangan serta observasi langsung. Setelah data diperoleh maka langkah selanjutnya adalah menganalisis dan menghitung data yang diperoleh.

Secara umum rancangan penelitian dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 3.1. Diagram alir penyelesaian masalah.

#### 3.2. Metode yang Digunakan

Dalam metode yang digunakan untuk mempermudah dalam mengidentifikasi masalah, merumuskan masalah, dan membahas masalah.

Dalam penelitian ini, akan menggunakan beberapa metode:

- Metode Observasi  
Metode observasi dilakukan dengan mengolah bahan sampel dijadikan profil I kastela.
- Metode Literatur  
Metode literatur atau kepustakaan ini adalah suatu cara atau metode penelitian untuk mengumpulkan data, yang didapat dari membaca buku-

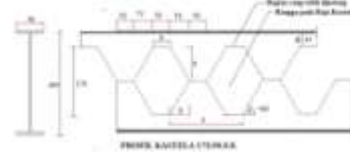
buku yang ada kaitannya dan hubungannya dengan masalah-masalah yang akan diteliti. Data yang diperoleh dari metode ini adalah cara pengolahan data yang berupa rumus-rumus untuk menghitung profil.

### IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Rencana Struktur



Gambar 4.1. Potongan profil IWF asli sebelum dijadikan kastela.



Gambar 4.2. Potongan profil IWF yang sudah dijadikan bentuk kastela.



Gambar 4.3. Potongan arah x



Gambar 4.4. Potongan arah y.

Untuk *input* perencanaan struktur bangunan pada SAP 2000 menggunakan tumpuan sendi.



Gambar 4.5. Penggunaan tumpuan sendi pada SAP 2000.

## 4.2. Analisa Beban

### 4.2.1 Perhitungan beban mati dan beban hidup

Tabel 4.1 Analisa Pembebanan Pelat

	LANTAI 1	LANTAI 2	LANTAI 3	LANTAI 4	ATAP
Pelat	360	360	360	360	288
Plafond	18	18	18	18	18
Spesi (2cm)	42	42	42	42	air hujan (1cm)=10
Keramik (1cm)	24	24	24	24	0
AC & pipa-pipa	40	40	40	40	40
Total	484	484	484	484	346
beban hidup kantor	250	250	250	250	100

Tabel 4.2 Analisa Pembebanan

LANTAI	STRUKTUR	PROFIL	BERAT	PANJANG	JUMLAH	BERAT (kg)
LANTAI 1	KOLOM	250.175.11	44.1	4.5	40	738
	BALOK 1	175.95.58	18.1	45	4	3258
LANTAI 1	BALOK 2	175.95.58	18.1	15	10	2715
	PELAT	45x15	484			324780
	TOTAL					342611
	HIDUP	45x15	250			148750
	KOLOM	250.175.11	44.1	4.5	40	738
LANTAI 2	BALOK 1	175.95.58	18.1	45	4	3258
	BALOK 2	175.95.58	18.1	15	10	2715
LANTAI 2	PELAT	45x15	484			324780
	TOTAL					342611
	HIDUP	45x15	250			148750
	KOLOM	250.175.11	44.1	4.5	40	738
	BALOK 1	175.95.58	18.1	45	4	3258
LANTAI 3	BALOK 2	175.95.58	18.1	15	10	2715
	PELAT	45x15	484			324780
LANTAI 3	TOTAL					342611
	HIDUP	45x15	250			148750
	KOLOM	250.175.11	44.1	4.5	40	738
	BALOK 1	175.95.58	18.1	45	4	3258
	LANTAI 4	BALOK 2	175.95.58	18.1	15	10
PELAT		45x15	484			324780
LANTAI 4	TOTAL					342611
	HIDUP	45x15	250			148750
	KOLOM	250.175.11	44.1	2.25	40	3690
	BALOK 1	175.95.58	18.1	45	4	3258
	ATAP	BALOK 2	175.95.58	18.1	15	10
PELAT		45x15	346			233550
ATAP	TOTAL					243492
	HIDUP	45x15	100			47500

### 4.2.2 Perhitungan beban gempa

Beban mati total = 1605936 kg

Beban hidup total = 742500 kg

Berat bangunan total (Wt) = 2348436 kg

kg

### 1. Perhitungan Periode Alami struktur

$T = 0,0731$  (struktur rangka pemikul momen)

$h_n = 22,5$  meter

$$T = Ct (h_n)^{3/4}$$

$$T = 0,0731 \times (22,5)^{3/4} = \mathbf{0,755 \text{ detik}}$$

$\xi = 0,19$  (SNI 03-1726-2002 pasal 5.6)

$n = 5$  lantai

$$T = \xi n$$

$$T = 0,19 \times 5 \text{ lantai} = \mathbf{0,95 \text{ detik} > 0,755 \text{ detik} \dots \text{OK}}$$

### 2. Penentuan faktor respon gempa

Periode alami struktur = **0,755 detik**

Jenis tanah **LUNAK** dengan nilai SPT rata-rata 6,62 berdasarkan SNI 03-1726-2002 tabel 4 pasal 4.6.3 (SPT rata-rata <15)

$$\text{Faktor respon gempa } (C1) = \mathbf{0,44}$$

### 3. Penentuan faktor keutamaan

Faktor keutamaan (I) = **1** untuk perkantoran (SNI 03-1726-2002 pasal 4.1)

### 4. Penentuan parameter daktilitas struktur

Parameter daktilitas struktur menggunakan **SRPMB** (Struktur Rangka Pemikul Momen Biasa) untuk **konstruksi baja** berdasarkan SNI 03-1726-2002.

$$\mu = \mathbf{2,7}$$

$$R = \mathbf{4,5}$$

### 5. Perhitungan gaya geser gempa

Perhitungan gaya geser gempa untuk portal struktur berdasarkan SNI 03-1726-2002 pasal 7.1.3

$$C1 = \mathbf{0,44}$$

$$I = \mathbf{1}$$

$$R = \mathbf{4,5}$$

$$W \text{ total} = \mathbf{2348436 \text{ kg}}$$

$$V = \frac{C1 \times I}{R} \times W \text{total}$$

$$V = \frac{0,44 \times 1}{4,5} \times 2377137 \text{ kg} = \mathbf{229625}$$

kg

### 6. Distribusi gaya geser gempa

$$F = \frac{W_i \times Z_i}{\sum W_i \times z_i} \times V$$

Tabel 4.3 Distribusi Gaya eser Gembira

lantai	gi	wi	wi * gi	Fi	Fi balok x	Fi balok y
ATAP	22.5	310992	6997320	33704	17901	5967
4	18	509361	9168498	70368	23456	7819
3	13.5	509361	6876373.5	32776	17592	5864
2	9	509361	4584249	35184	11728	3909
1	4.5	509361	2292124.5	17592	5864	1955
total		2348436	29918565			

7. Tabel pembebanan

Tabel 4.4 Pembebanan Struktur

Lantai	DL	LL	E-x	E-y
1	2523	1250	17901	5967
2	2523	1250	23456	7819
3	2523	1250	17592	5864
4	2523	1250	11728	3909
atap	1804	500	5864	1955

Tabel 4.5 Kombinasi pembebanan

Kombinasi	
ASD	LFRD
DL + LL	1,4 DL
DL + LL + E	1,2 DL + 1,6 LL
	1,2 DL + LL + E

4.3. Kontrol Stabilitas

4.3.1 Aksi kolom

Faktor panjang efektif kx, ditentukan menggunakan faktor G:

GA = 1,0 (jepit)

L balok = 500 cm

L kolom = 450 cm

$$kx = 0,794$$

$$GB = \frac{\sum (\frac{1}{I})_{kolom}}{\sum (\frac{1}{I})_{balok}}$$

$$GB = \frac{(2/4,5m)}{(1,4/5m)} = 1,589$$

Dalam arah y kolom diasumsikan tertumpu sendi di ujung atas dan bawahnya, sehingga ky = 1.

Lx = 450 cm

rx = 10,4

kx . Lx / rx

$$0,794 \cdot 450 / 10,4 = 34,34$$

Ly = 500 cm

ry = 4,18

ky . Ly / ry

$$1 \cdot 500 / 4,18 = 107,66$$

π = 3,14

fy = 240

E = 200000

$$\lambda c = 1/\pi \cdot \frac{ky \cdot Ly}{ry} \cdot \sqrt{\frac{fy}{E}}$$

$$\lambda c = 1/3,14 \cdot \frac{1.500}{4,18} \cdot \sqrt{\frac{240}{200000}} = 1,19$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda c}$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 1,19} = 1,79$$

$$Ag = 5624 \text{ mm}^2$$

$$Nn = Ag \cdot fcr$$

$$Nn = 5624 \cdot (240/1,79) = 759130 =$$

$$759,13 \text{ ton}$$

Gambar 4.6. Output perhitungan.

$$Nu = 175000 \text{ kg} = 175 \text{ ton}$$

$$\phi = 0,85$$

$$Nu / \phi \cdot Nn$$

$$175 / (759,13 \cdot 0,85) = 2,92 > 0,2$$

Untuk komponen struktur yang lainnya dapat dilihat di halaman lampiran.

4.3.2 Aksi Balok

bf = 90 mm

tf = 8 mm

$$bf / 2 \cdot tf < \lambda p = 170 / \sqrt{fy}$$

$$90 / 2 \cdot 8 < \lambda p = 170 / \sqrt{240}$$

$$5,625 < 10,974$$

Gambar 4.7. Output perhitungan

$$Nu = 1900 \text{ kg} = 1,9 \text{ ton}$$

$$\phi b = 0,9$$

$$Ag = 2304 \text{ mm}^2$$

$$Nu / \phi b \cdot Ny$$

$$1,9 / (0,9 \cdot 240 \cdot 2304) = 0,038$$

$$\lambda p = 500 / \sqrt{fy} (2,33 - \frac{Nu}{\phi b \cdot Ny}) \geq 665 / \sqrt{fy}$$

$$\lambda_p = 500 / \sqrt{240} (2,33 - \frac{1,69}{0,9 \cdot 240 \cdot 2304}) \geq$$

$$665 / \sqrt{240}$$

$$73,97 \geq 42,926$$

$$h = 264 \text{ mm}$$

$$tw = 5 \text{ mm}$$

$$\lambda = h/tw < \lambda_p$$

$$\lambda = (175 - 2 \cdot 8) / 5 = 49,6 < 73,97$$

Untuk kompronen struktur yang lainnya dapat dilihat di halaman lampiran.

#### 4.3.3 Perbesaran momen, $\delta_b$

Untuk menghitung  $\delta_b$  diperlukan rasio kelangsingan dari portal tak bergoyang.

$$k_x = 1$$

$$L_x = 450 \text{ cm}$$

$$r_x = 10,4$$

$$k_x \cdot L_x / r_x$$

$$1 \cdot 450 / 10,4 = 43,27$$

$$M1 = 3 \times 10^{-11} \text{ kgm} = 3 \times 10^{-14} \text{ Ton.m}$$

$$M2 = 31000 \text{ kgm} = 31 \text{ Ton.m}$$

$$C_m = 0,6 - 0,4 (M1 / M2)$$

$$C_m = 0,6 - 0,4 (3 \times 10^{-14} / 31) = 0,6$$

$$A_g = 5624 \text{ mm}^2$$

$$L = 450 \text{ mm}$$

$$r = 10,4$$

$$N_{el} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_g}{\left(k \frac{L}{r}\right)^2}$$

$$N_{el} = \frac{3,14^2 \cdot 200000 \cdot 5624}{\left(1 \cdot \frac{450}{10,4}\right)^2} = 592,35 \text{ ton}$$

$$N_u = 175 + 3,65 (5 / 2,25) = 183,12 \text{ ton}$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{N_u}{N_{el}}}$$

$$\delta_b = \frac{0,6}{1 - \frac{183,12}{592,35}} = 0,9 < 1,0$$

Untuk kompronen struktur yang lainnya dapat dilihat di halaman lampiran.

#### 4.3.4 Perbesaran momen, $\delta_s$ .

$$\Sigma N_u = 2(175) + 3,65(5) = 368,26 \text{ ton}$$

$$A_g = 2304 \text{ mm}^2$$

$$L = 500 \text{ mm}$$

$$r = 7,26$$

$$N_{el} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_g}{\left(k \frac{L}{r}\right)^2}$$

$$N_{el} = \frac{3,14^2 \cdot 200000 \cdot 2304}{\left(1 \cdot \frac{500}{7,26}\right)^2} = 957,87 \text{ ton}$$

$$\Sigma N_{el} = 2(N_{el}) = 2 \times 957,87 \text{ ton} = 1915,73 \text{ ton}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma N_u}{\Sigma N_{el}}}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{368,26}{1915,73}} = 1,2$$

Untuk kompronen struktur yang lainnya dapat dilihat di halaman lampiran.

#### 4.3.5 Periksa persamaan

$$\delta_b = 0,9$$

$$M_{ntu} = 31000 \text{ kgm}$$

$$\delta_s = 1,2$$

$$M_{ltu} = 4000 \text{ kgm}$$

$$M_{ux} = \delta_b \cdot M_{ntu} + \delta_s \cdot M_{ltu}$$

$$M_{ux} = 0,9 \cdot 31000 + 1,2 \cdot 4000 = 35800 \text{ kgm} = 35,8 \text{ ton.m}$$

$$\text{Momen} = 36000 \text{ kgm} = 36 \text{ tm}$$

$$N_u = 1,9 \text{ ton}$$

$$N_n = 75,91 \text{ ton}$$

$$N_u / \phi \cdot N_n + 8/9 (M_{ux} / \phi_b \cdot M_{nx}) \leq 1,0$$

$$1,9 / 0,9 \cdot 75,91 + 8/9 (35,8 / 0,9 \cdot 36) \leq 1,0$$

$$1,0 \leq 1,0.$$

Untuk kompronen struktur yang lainnya dapat dilihat di halaman lampiran.

### 4.4. Analisis Perhitungan Biaya Menggunakan Profil Kastela

Tabel 4.6. Analisis Kebutuhan Material Baja dalam Kilogram

LANTAI	STRUKTUR	PROFIL	BERAT/M	PANJANG	JUMLAH	BERAT (kg)
LANTAI 1	KOLOM	250.175.7.11	44.1	4.5	40	7938
	BALOK 1	175.90.5.8	18.1	45	4	3238
	BALOK 2	175.90.5.8	18.1	15	10	2715
LANTAI 2	KOLOM	250.175.7.11	44.1	4.5	40	7938
	BALOK 1	175.90.5.8	18.1	45	4	3238
	BALOK 2	175.90.5.8	18.1	15	10	2715
LANTAI 3	KOLOM	250.175.7.11	44.1	4.5	40	7938
	BALOK 1	175.90.5.8	18.1	45	4	3238
	BALOK 2	175.90.5.8	18.1	15	10	2715
LANTAI 4	KOLOM	250.175.7.11	44.1	4.5	40	7938
	BALOK 1	175.90.5.8	18.1	45	4	3238
	BALOK 2	175.90.5.8	18.1	15	10	2715
ATAP	BALOK 1	175.90.5.8	18.1	2.25	40	3969
	BALOK 2	175.90.5.8	18.1	15	10	2715
					TOTAL	65586

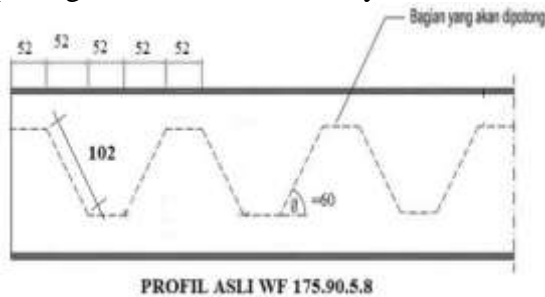
Dari tabel di atas maka kebutuhan material baja menggunakan model kastela adalah 65586 kg. Sedangkan untuk harga pekerjaan konstruksi baja menggunakan asumsi harga satuan pekerjaan adalah Rp.19.000,-/kilogram. Jadi total biaya yang dibutuhkan dalam pekerjaan konstruksi baja



menggunakan profil kastela adalah sebesar Rp.1.246.134.000,-

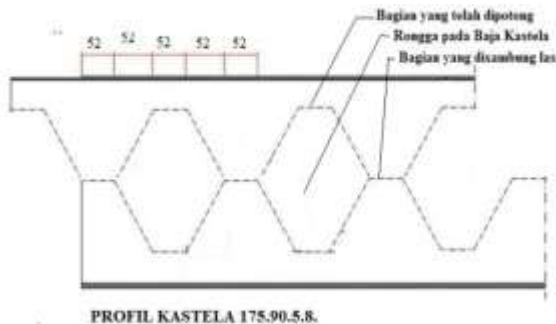
Sedangkan untuk pekerjaan profil kastela, menggunakan asumsi Rp.1.050,-/kilogram untuk biaya pemotongan bentuk kastela. Dan asumsi Rp.1.000,-/kilogram untuk biaya pengerjaan penyambungan/pengelasan bentuk kastela. Jadi total biaya untuk pembentukan profil kastela adalah Rp.2.050,-/kilogram.

Dalam rincian perhitungan pekerjaan potong dan las balok kastela yaitu:



Gambar 4.8. Volume pemotongan profil IWF.

Dalam pemotongan profil IWF diasumsikan dalam setiap 1 meter terdapat sepanjang 1,48 meter pemotongan. Dalam setiap pemotongan didapat harga satuan Rp.12.500,-/meter. Dalam satu meter balok memiliki berat 18,1kg. Jadi untuk harga satuan pekerjaan pemotongan IWF adalah 1,48 meter x Rp.12.500,- = Rp.18.500,-permeter balok. Dan jika dihitung perkilogram maka Rp.18.500,- / 18,1kg = Rp.1.022,- ~ Rp.1.050,-/kg.



Gambar 4.9. Volume pengelasan profil IWF kastela.

Dalam pengelasan profil IWF diasumsikan dalam setiap 1 meter terdapat sepanjang 0,25 meter pengelasan. Dalam

setiap pengelasan didapat harga satuan Rp.35.000,-/meter. Dalam satu meter balok memiliki berat 18,1kg. Jadi untuk harga satuan pekerjaan pengelasan IWF kastela adalah 0,25 meter x Rp.35.000,- = Rp.8.750,- permeter balok. Dan jika dihitung perkilogram maka Rp.8.750,- / 18,1kg = Rp.483,- ~ Rp.500,-/kg. Karena dalam pengelasan dilakukan teknik pengelasan bolak-balik maka harga satuan dikali 2, yaitu menjadi Rp. 1.000,-/kg.

Pada pekerjaan struktur ini, yang menggunakan model kastela hanya pada balok saja, sehingga untuk perhitungan berat kebutuhan material hanya dihitung kebutuhan berat material balok. Berdasarkan table di atas kebutuhan material balok adalah 29865kg. jadi untuk biaya pekerjaan pembentukan balok kastela adalah Rp.61.224.000,-.

Jadi biaya dalam penggunaan struktur ini adalah Rp.1.246.134.000,- untuk biaya materialnya, dan Rp.61.224.000,- untuk biaya pembentukan balok kastela. Total biaya yang dibutuhkan dalam pengerjaan struktur ini adalah Rp.1.307.358.000,-.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan struktur baja di atas berdasarkan SNI 03-1729-2002. Hasil perencanaan menggunakan struktur baja kastela adalah untuk profil kolom menggunakan profil H 250.175.7.11. Sedangkan untuk profil balok menggunakan profil WF 175.90.5.8 dijadikan bentuk kastela menjadi profil 264.90.5.8.

Sedangkan dilihat dari segi ekonomisnya. Biaya total menggunakan struktur baja kastela adalah Rp.1.307.358.000,-. Sedangkan biaya total menggunakan struktur baja biasa adalah Rp. 1.791.453.000,-. Maka dari itu Selisih harga antara penggunaan struktur baja biasa dengan struktur baja kastela adalah Rp.484.095.000,-. Atau dengan perbandingan 1/1,4.

**Tabel 5.1 Rekapitulasi Perbandingan Hitungan antara Profil Biasa dan Profil Kastela**

	PROFIL BIASA	PROFIL KASTELE	KETERANGAN
<b>Dimensi Kolom</b>	330.175.7.1	250.175.7.11	
<b>Dimensi Balok</b>	300.150.8.3	264.90.5.8	
<b>Aksi Kolom</b>			
Nu (ton)	182	175	
Nu (ton)	80	75.91	
Nu (ton)	2.87	2.92	> 0.2 OK
<b>Aksi Balok</b>			
Nu (ton)	1.7	1.9	
A	32.27	32.27	
B	7.71	2.29	
C	4.88	42.93	< Ap OK
Ap	74.00	73.97	> A OK
A	43.38	49.6	< Ap OK
<b>Perbesaran Momen Tak Bergoyang</b>			
Nu (ton)	182	175	
M1 (ton)	1.40E-14	3.00E-14	
M2 (ton)	31	31	
Qb	0.7	0.9	< 1 OK
<b>Perbesaran Momen Bergoyang</b>			
Nu (ton)	182	175	
Sa	1.2	1.2	
<b>Kontrol Perencanaan</b>			
bdm	31000	31000	
blly	3600	4000	
Muk (ton)	35.2	35.8	
Momen (ton)	38	36	
Nu (ton)	1.7	1.9	
Hasil	0.9	1	≤ 1.0
<i>Catatan: Hasil perhitungan Balok Profil Biasa berdasarkan data dan peneliti terdahulu yang telah ditabukan. Hasil perhitungan Balok Profil Kastela selanjutnya bisa dilihat pada halaman lamiran.</i>			

Maka dapat disimpulkan kembali bahwa pekerjaan struktur baja kastela lebih ekonomis materialnya dibanding daripada baja biasa, jika ditinjau dari berat sendiri bangunan total. Hal ini menunjukkan bahwa pekerjaan struktur baja kastela lebih ekonomis. Mengingat berat sendiri bangunan sangat berpengaruh terhadap gaya yang dihasilkan dari berat bangunan itu sendiri, semakin besar berat bangunan, maka semakin besar pula gaya yang ditimbulkan.

## 5.2. Saran

Untuk peneliti selanjutnya diharapkan bisa menciptakan inovasi baru dengan bentuk lubang pada profil kastela, seperti berbentuk lubang lingkaran, segi delapan, dan lain-lain.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia. 1983.
- Gunawan, Rudi. 1983. *Tabel Profil Konstruksi Baja*. Yogyakarta: Kanisius.
- Setiawan, Agus. 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Semarang: Erlangga.
- Software SAP 2000 versi 9.
- Web. Google-perhitungan struktur balok baja kastela-Suharjatmo. Media Komunikasi Teknik Sipil.
- Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung. 1989. Standar Nasional Indonesia 1727.
- Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung. 2002. Standar Nasional Indonesia 1726.
- Konstruksi Baja. 2002. Standar Nasional Indonesia 1729.
- Laporan Penyelidikan Tanah. 2012. Testana Engineering, Inc.