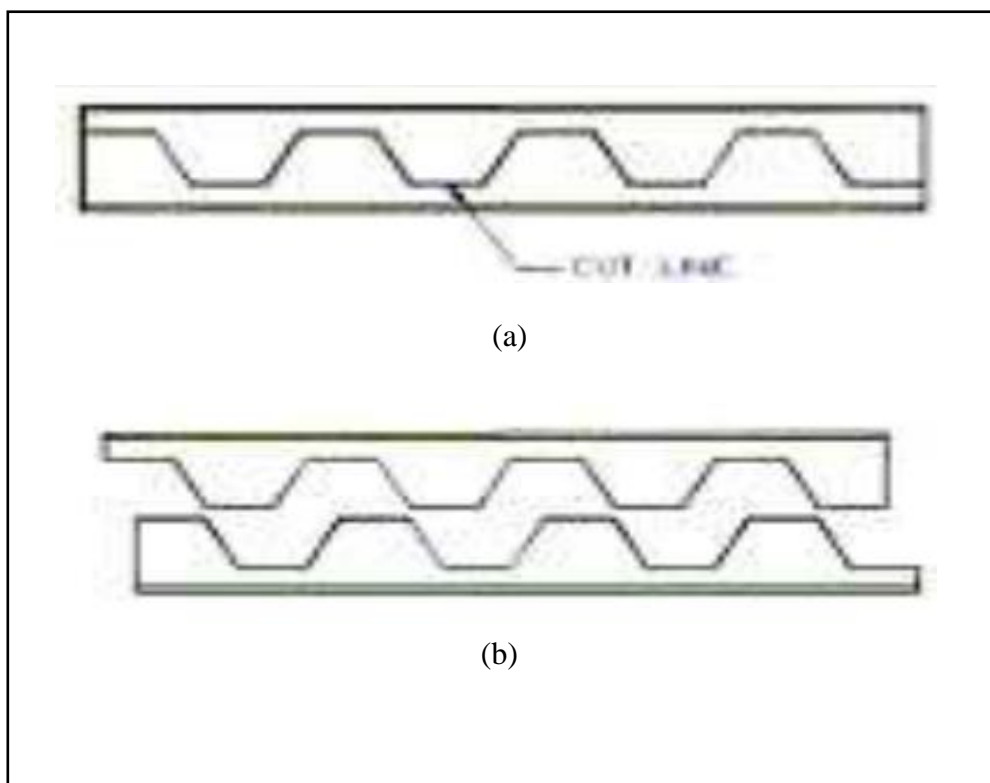


## BAB II

### STUDI LITERATUR

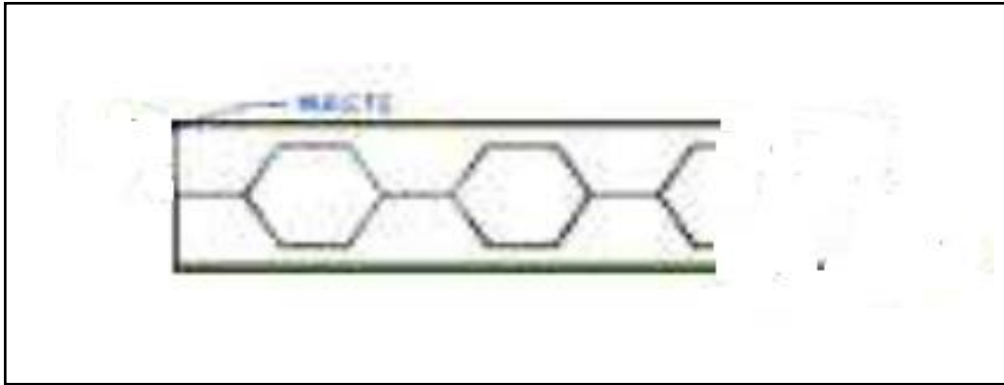
#### 2.1. Balok Kastilasi

Castellation adalah proses pemotongan badan profil dengan pola potongan sedemikian rupa, lalu disambung kembali dengan cara di geser atau dibalik yang kemudian dilakukan pengelasan untuk proses penyambungan (Blodget,1966). Di mana nantinya potongan tersebut membentuk sebuah lubang pada bagian badan dari balok baja yang dapat dilihat pada (gambar2.1) dan (gambar2.2).



Gambar2.1 Desain dan proses cutting pada baja profil I

(Sumber: Ngudi Hari Crista,2015)



(Gambar2.2 proses penyambungan balok profil I)

(Sumber: Ngudi Hari Crista,2015)

Keterangan :

$db$  = profil balok awal (cm)

$dg$  = profil balok kastela (cm)

$h$  = tinggi pemotongan profil (cm)

$dt$  = profil balok kastilasi (cm)

$b$  = panjang kemiringan kastilasi (cm)

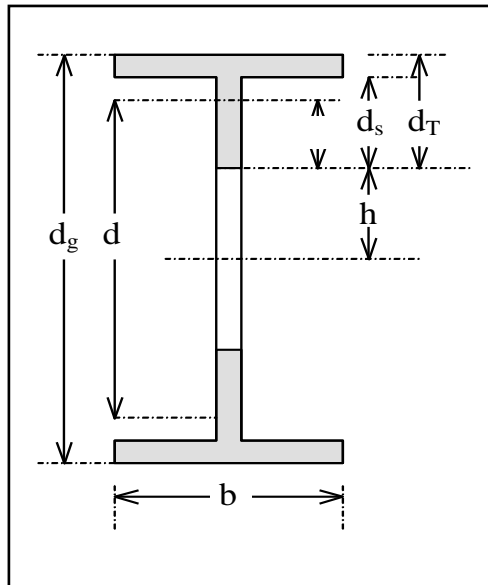
$s$  = lebar segemen panel (cm)

$e$  = lebar Web post (cm)

$\emptyset$  = sudut potongan pada badan profil baja kastilasi ( $^{\circ}$ )

Di mana pada (gambar2.1) merupakan pola potongan desain pada badan balok baja profil I, lalu pada (gambar2.2a) merupakan proses setelah pemotongan balok pada bagian badan yang sesuai dengan pola potongan pada (gambar2.1), dan pada (gambar2.2c) merupakan proses penyambungan badan balok pada( gambar2.2a) dengan cara pengelasan.

Berdasarkan buku Design of Welded Structures sifat perluasan lubang pada balok baja kastilasi dapat di tentukan berdasarkan rumus berikut :



**Gambar2.3 Penampang balok kastilasi**

(Sumber: Ngudi Hari Crista,2015)

Menurut (Ngudi Hari Crista,2015) rumus untuk menghitung titik berat dari penampang balok baja kastilasi adalah sebagai berikut :

$$at = af + aw = b \times tf + ds \times tw \dots \dots \dots (2.1)$$

$$Ay = af \left( ds + \frac{tf}{2} \right) + aw \left( \frac{ds}{2} \right) \dots \dots \dots (2.2)$$

Dari persamaan (2.1) dan (2.2) maka didapatkan titik berat penampang balok kastilasi yaitu dengan rumus sebagai berikut :

$$Cs = \frac{Ay}{at} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$d = 2(h + Cs) \dots \dots \dots (2.4)$$

$$Iy = af \left( ds^2 + ds \times tf + \frac{tf^2}{3} \right) + aw \times \frac{ds^2}{3} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$It = Iy - Cs \times Ay \dots \dots \dots (2.6)$$

$$Ig = 2It + \frac{at \times d^2}{2} \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

$a_w$  = Luas penampang badan (  $\text{cm}^2$  )

$a_f$  = Luas penampang sayap (  $\text{cm}^2$  )

$t_w$  = Tebal badan (  $\text{cm}$  )

$C_s$  = Titik berat penampang grider (  $\text{cm}$  )

$I_y$  = Momen inersia (  $\text{cm}^4$  )

$I_t$  = Momen inersia total (  $\text{cm}^4$  )

$I_g$  = Momen inersia penampang balok baja kastilasi (  $\text{cm}^4$  )

## 2.2 Bentuk - bentuk Lubang Balok Kastilasi

Adapun bentuk – bentuk lubang pada balok kastilasi, yaitu segi enam (*hexagonal*), lingkaran (*circular*), dan persegi (*rectangular*). Berikut perhitungan desain balok kastilasi dan proses pembuatan balok kastilasi

### 2.2.1 Balok Kastilasi Bentuk Lubang Segi Enam

Menurut (Ngudi Hari Crista,2015) perhitungan untuk balok kastilasi bentuk lubang segi enam adalah sebagai berikut:

$$dg = db + h \dots \dots \dots (2.8)$$

$$dT = \frac{db-h}{2} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$dS = dT - tf \dots \dots \dots (2.10)$$

$$b = \frac{h}{\tan \alpha} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$s = 2(b) + 2(e) \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan :

$db$  = profil balok awal (cm)

$dg$  = profil balok kastela (cm)

$h$  = tinggi pemotongan profil (cm)

$dt$  = profil balok kastilasi

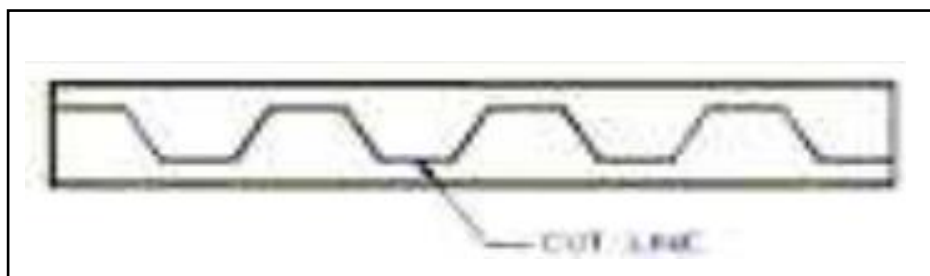
$b$  = panjang kemiringan kastilasi (cm)

$s$  = lebar segmen panel (cm)

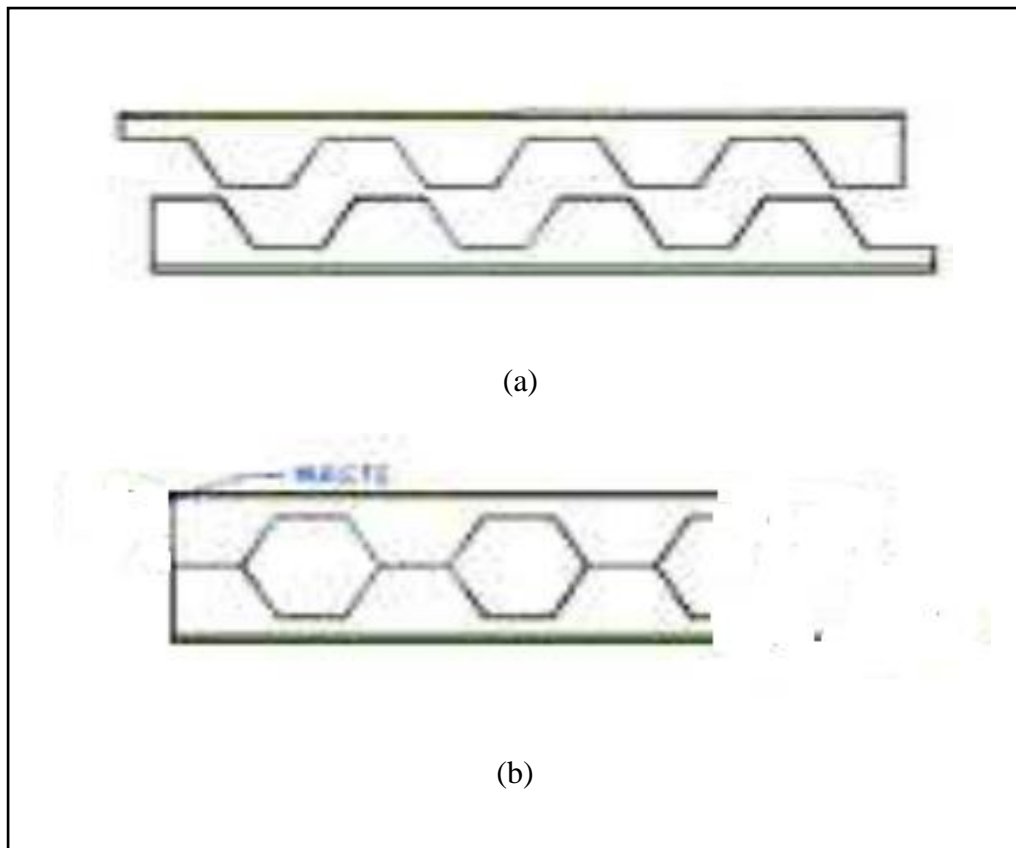
$e$  = lebar Web post (cm)

$\emptyset$  = sudut potongan pada badan profil baja kastilasi (o)

Pembuatan balok kastilasi bentuk lubang segi enam (*hexagonal*), di peroleh dari profil I yang dipotong menurut suatu pola pemotongan. Pemotongan dilakukan pada badan balok sepanjang bentang, yang mengikuti garis pola potongan yang ditunjukkan pada (gambar2.4) dan (gambar2.5).



**Gambar2.4** Desain pola segi enam  
(Sumber: Ngudi Hari Crista,2015)



**Gambar2.5** kastilasi bentuk lubang segi enam  
 (Sumber: Ngudi Hari Crista,2015)

Di mana pada (gambar2.4) merupakan pola potongan desain pada badan balok baja profil I, lalu pada (gambar2.5a) merupakan proses setelah pemotongan balok pada bagian badan yang sesuai dengan pola potongan pada (gambar2.4), dan pada (gambar2.5b) merupakan proses penyambungan badan balok pada( gambar2.5a) dengan cara pengelasan.

2.2.2 Balok Kastilasi Bentuk Lubang Lingkaran

Menurut (suharjanto,2011) adapun perhitungan balok kastilasi bentuk lubang lingkaran adalah sebagai berikut :

$$dg = db + h..... (2.13)$$

$$dT = \frac{db-h}{2}..... (2.14)$$

$$dS = dT - tf..... (2.15)$$

$$b = \frac{(D-e-0.1)}{2}..... (2.16)$$

$$D = 2h + 0,1..... (2.17)$$

$$s = 2(b) + 2(e) \dots \dots \dots (2.18)$$

Keterangan :

db = profil balok awal (cm)

dg = profil balok kastela (cm)

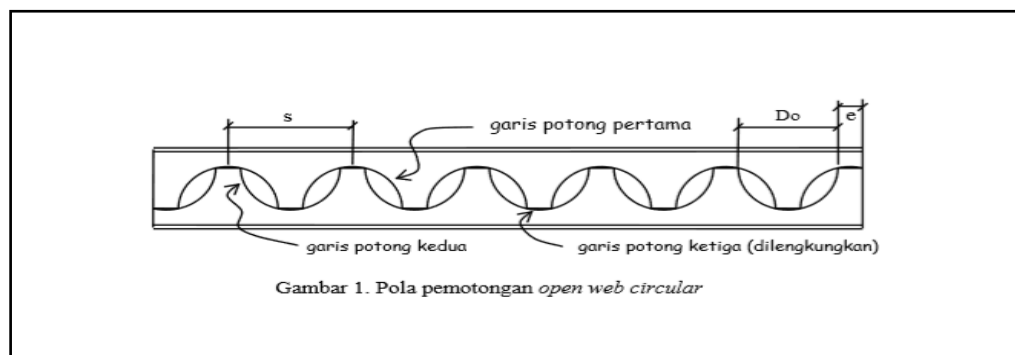
h = tinggi pemotongan profil (cm)

D= Diameter lubang (cm)

S = lebar segmen panel (cm)

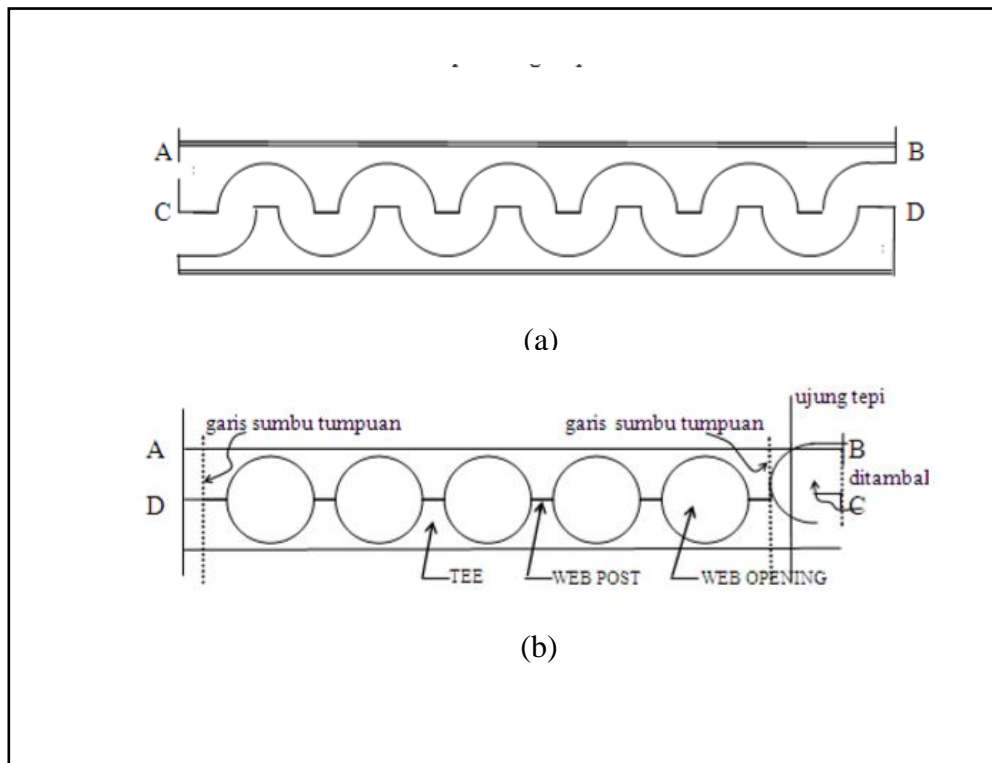
e = lebar Web post (cm)

Pembuatan balok kastilasi bentuk lubang lingkaran (*circular*), di peroleh dari profil I yang dipotong menurut suatu pola pemotongan. Pemotongan dilakukan pada badan balok sepanjang bentang, yang mengikuti garis pola potongan yang ditunjukkan pada (gambar2.6) dan (gambar2.7)



**Gambar2.6 Desain pola lingkaran**

(sumber: Suharjanto,2011)



**Gambar2.7 Proses pemotongan dan penyambungan dari baja profil I menjadi balok kastilasi bentuk lubang lingkaran**

(sumber: Suharjantof,2011)

Di mana pada (gambar2.6) merupakan pola potongan desain pada badan balok baja profil I, lalu pada (gambar2.7a) merupakan gambar setelah proses pemotongan balok pada bagian badan yang sesuai dengan pola potongan pada (gambar2.6), dan pada (gambar2.7b) merupakan gambar proses penyambungan badan balok pada (gambar2.7a) dengan cara pengelasan.

### 2.2.3 Balok Kastilasi Bentuk Lubang Persegi

Menurut (Pooja Ravi,2018) adapun perhitungan balok kastilasi bentuk lubang lingkaran adalah sebagai berikut :

$$dg = db + h \dots \dots \dots (2.19)$$

$$dT = \frac{db-h}{2} \dots \dots \dots (2.20)$$

$$dS = dT - tf \dots \dots \dots (2.21)$$

$$p = h \dots \dots \dots (2.22)$$



$$b = \frac{P-e}{2} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$s = 4(b) + 2(e) \dots\dots\dots (2.24)$$

Keterangan :

db = profil balok awal (cm)

dg = profil balok kastela (cm)

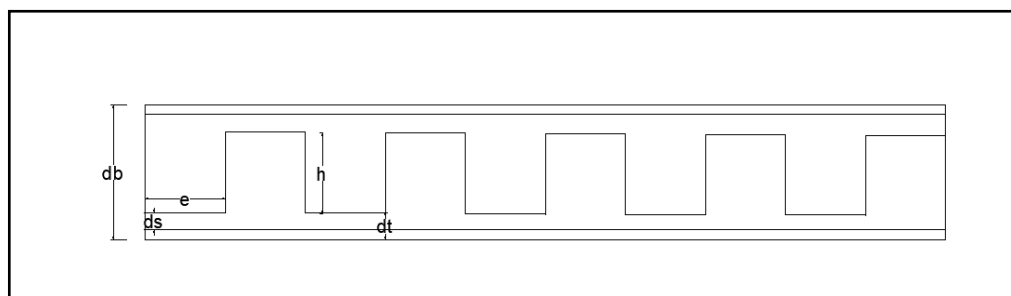
h = tinggi pemotongan profil (cm)

p = panjang persegi

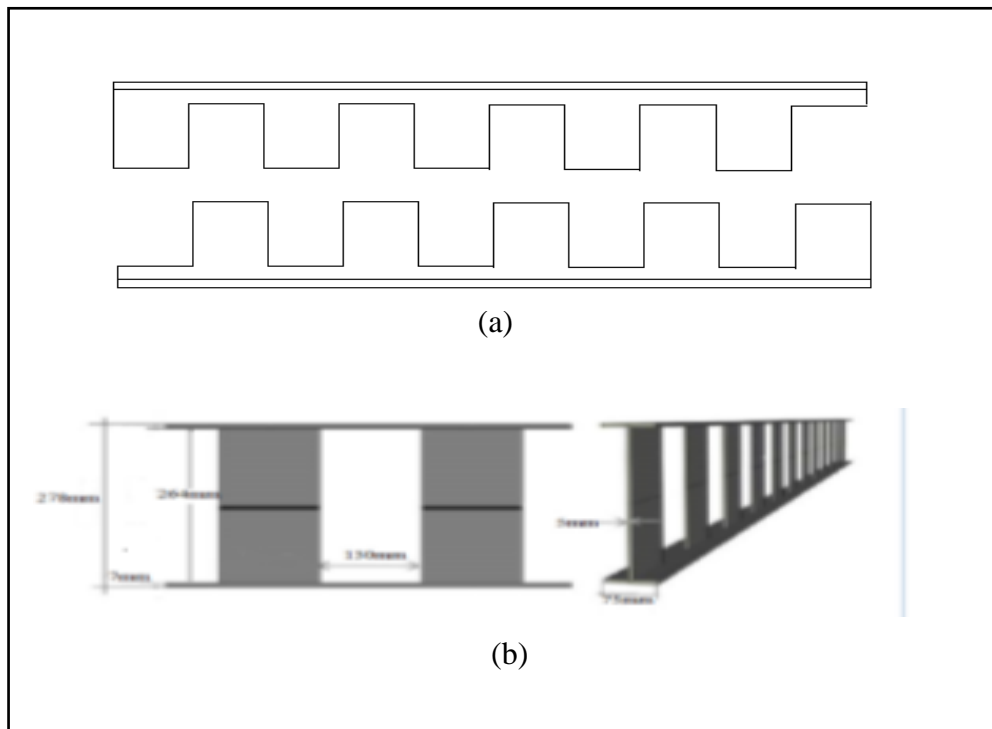
S = lebar segmen panel (cm)

e = lebar Web post

Pembuatan balok kastilasi bentuk lubang persegi (*rectangular*), di peroleh dari profil I yang dipotong menurut suatu pola pemotongan. Pemotongan dilakukan pada badan balok sepanjang bentang, yang mengikuti garis pola potongan yang ditunjukkan pada (gambar2.8) dan (gambar2.9).



Gambar2.8 Desain pola persegei



**Gambar2.9 Proses pemotongan dan penyambungan dari baja profil I menjadi balok kastilasi bentuk persegi**  
(sumber: Pooja Ravi,2018)

Di mana pada (gambar2.8) merupakan pola potongan desain pada badan balok baja profil I, lalu pada (gambar2.9a) merupakan gambar setelah proses pemotongan balok pada bagian badan yang sesuai dengan pola potongan pada (gambar2.8), dan pada (gambar2.9b) merupakan gambar proses penyambungan badan balok pada (gambar2.9a) dengan cara pengelasan.

### 2.3 Kelebihan dan Kekurangan Balok kastilasi

Menurut (Megharief,1997) adapun kelebihan dari profil balok baja kastilasi adalah sebagai berikut :

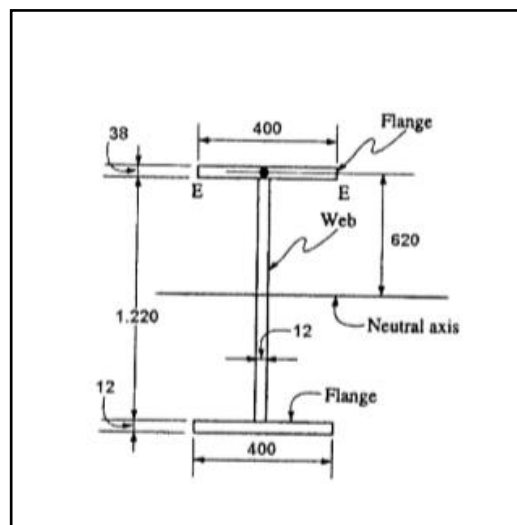
1. Mempunyai momen inersia dan modulus section yang lebih besar sehingga lebih kuat dan lebih kaku dibandingkan dengan profil asalnya.
2. Mampu memikul momen lebih besar dengan tegangan ijin yang lebih kecil.
3. Bahanya ringan, kuat, serta mudah dipasang.
4. Mengurangi biaya *erection* (pengangkatan).

Menurut (Megharief,1997) adapun kekurangan dari profil balok baja kastilasi adalah sebagai berikut :

1. Kurang kuat dalam menerima gaya lateral.
2. Kurang kuat dalam menerima gaya geser.
3. Kurang tahan api, sehingga harus ditambah dengan lapisan tahan api sebesar 20% lebih tebal agar dapat mencapai ketahanan yang sama dengan profil aslinya.

## 2.4 Momen Inersia

Momen inersia (kelembaman) merupakan kemampuan suatu benda untuk mempertahankan keadaannya semula. Besaran ini adalah analog rotasi daripada massa ([https://id.wikipedia.org/wiki/Momen\\_Inersia](https://id.wikipedia.org/wiki/Momen_Inersia)). Profil WF (Wide Flange) adalah salah satu profil baja structural yang paling populer digunakan untuk konstruksi baja. Di mana profil ini terbagi dalam 3 bagian yang berbentuk persegi (Muhib,2008). Dengan demikian perhitungan momen inerias baja profil WF menggunakan rumus seperti berikut.



**Gambar2.10** Penampang baja profil IWF

(sumber: Muhib,2008)

Menurut (Muhib,2008) adapun perhitungan untuk menghitung momen Inersia adalah sebagai berikut :

$$I_{xx} = \sum(I_{xi} + A_i y_i^2) \dots\dots\dots (2.25)$$

$$I_{yy} = \sum(I_{yi} + A_i x_i^2) \dots\dots\dots (2.26)$$

$$I_p = I_{xx} + I_{yy} \dots\dots\dots (2.27)$$

$$1. I_{xx} = \sum(I_{xi} + A_i y_i^2) \dots\dots\dots (2.25)$$

a. Langkah pertama penampang badan:

$$I_{x1} = \frac{tw(H-2tf)^3}{12} \dots\dots\dots (2.28)$$

$$A_1 y_1^2 = 0 \dots\dots\dots (2.29)$$

b. Langkah ke-dua penampang sayap atas = sayap bawah :

$$I_{x2} = \frac{B \times tf^3}{12} \dots\dots\dots (2.30)$$

$$y_2 = \frac{H}{2} - \frac{tf}{2} \dots\dots\dots (2.31)$$

$$A_2 y_2^2 = B \times tf \times \left(\frac{H}{2} - \frac{tf}{2}\right)^2 \dots\dots\dots (2.32)$$

Maka untuk mendapatkan momen inersia sumbu x-x atau  $I_{xx}$  langkah perhitungan momen inersia penampang badan, dan langkah perhitungan momen inersia penampang sayap atas dan bawah dimasukan ke persamaan  $I_{xx}$ , akan menjadi seperti berikut :

$$I_{xx} = \left(\frac{tw(H-2tf)^3}{12} + 0\right) + 2 \left(\frac{B \times tf^3}{12} + B \times tf \times \left(\frac{H}{2} - \frac{tf}{2}\right)^2\right) \dots\dots\dots (2.33)$$

Sedangkan untuk mencari nilai momen inersia baja untuk sumbu  $I_{yy}$  adalah sebagai berikut :

$$2. I_{yy} = \sum(I_{yi} + A_i x_i^2) \dots\dots\dots (2.26)$$

a. Langkah pertama penampang badan:

$$I_{y1} = \frac{(H-2tf) \times tw^3}{12} \dots\dots\dots (2.34)$$

$$A_i x_1^2 = 0 \dots\dots\dots (2.35)$$

b. Langkah ke-dua penampang sayap atas = sayap bawah :

$$I_{y2} = \frac{tf \times B^3}{12} \dots\dots\dots (2.36)$$

$$y_2 = \frac{B}{2} - \frac{tf}{2} \dots\dots\dots (2.37)$$

$$A_2 x_2^2 = B \times tf \times \left(\frac{B}{2} - \frac{tf}{2}\right)^2 \dots\dots\dots (2.38)$$

Maka untuk mendapatkan momen inersia sumbu y-y atau Iyy langkah perhitungan momen inersia penampang badan, dan langkah perhitungan momen inersia penampang sayap atas dan bawah dimasukan ke persamaan Iyy, akan menjadi seperti berikut :

$$I_{yy} = \left(\frac{(H-2tf) \times tw^3}{12} + 0\right) + 2 \left(\frac{tf \times B^3}{12} + B \times tf \times \left(\frac{B}{2} - \frac{tf}{2}\right)^2\right) \dots\dots\dots (2.39)$$

## 2.6 Tegangan Horizontal

2.6.1. Menurut (Blodgget,1982) bahwa tegangan horizontal memanjang dapat di hitung dengan salah cara sebagai berikut :

1. Menggunakan rumus umum :

$$\sigma_h = \frac{V \times A_y}{I \times t_w} \left(\frac{S}{e}\right) \rightarrow \frac{V \times (A_f \times y_f + A_w \times y_w)}{I \times t_w} \left(\frac{S}{e}\right) \dots\dots\dots (2.40)$$

Keterangan :

af = Luas tampang sayap (cm<sup>2</sup>)

yf = Jarak pusat berat tampang sayap ke garis netral (cm)

aw = Luas tampang badan (cm<sup>2</sup>)

yw = Jarak pusat berat badan ke garis netral (cm)

tw = tebal badan (cm)

s = lebar segemen panel (cm) → lihat pada (Gambar2.9)

e = lebar Web post (cm) → lihat pada (Gambar2.9)

2. Menggunakan rumus :

$$V_h = \frac{M_2 - M_1}{d} \rightarrow \sigma_h = \frac{M_2 - M_1}{d} \dots\dots\dots (2.41)$$

Keterangan :

$$M_2 - M_1 = \Delta M$$

$M_2$  = Momen panel ditengah bentang

$M_1$  = momen panel diarah tepi bentang

$d$  = jarak pusat berat panel atas ke panel bawah

3. Menggunakan rumus :

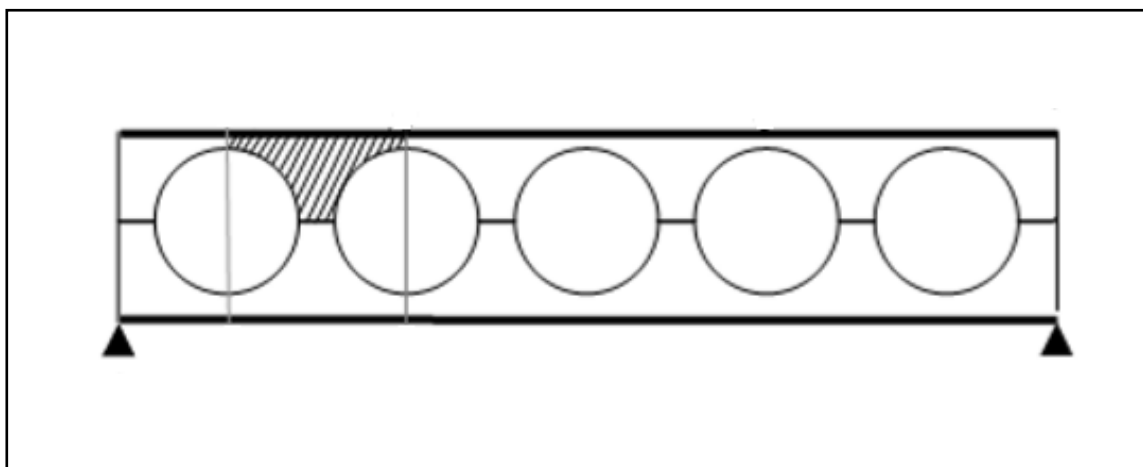
$$V_h = V_x \left( \frac{s}{d} \right) \rightarrow V_x = \frac{(V_1 + V_2)}{2} \dots\dots\dots (2.42)$$

$$\sigma_h = \frac{V_h}{e \times t_w} \dots\dots\dots (2.43)$$

Keterangan :

$V_1$  = Gaya lintang di tengah bentang

$\sigma_h = V_2$  = Gaya lintang panel di arah tepi bentang



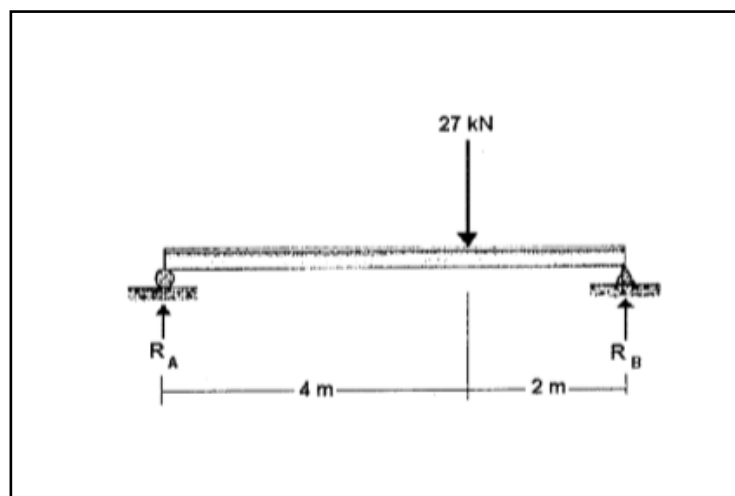
**Gambar2.11. Besaran momen T atas bagian di arsir**

(sumber: Suharjantof,2011)

## 2.7 Gaya Geser Balok

Gaya geser merupakan jumlah dari komponen tegak dari beban luar yang bekerja pada penampang sebuah benda (Muhib,2008), definisi gaya geser dapat dinyatakan secara matematis yaitu:

$$V = R_1 - P_1 - P_2 \dots\dots\dots (2.48)$$



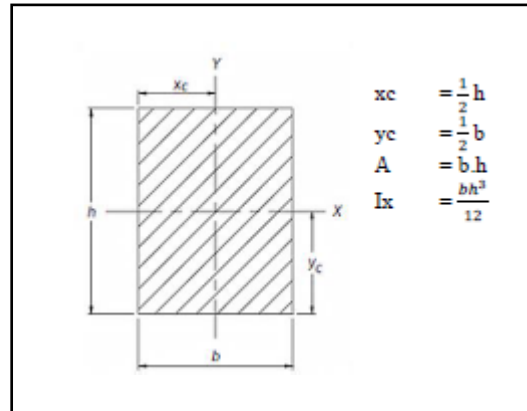
Gambar2.12 Balok tumpuan sederhana dengan beban terpusat  
(sumber: Muhib,2008)

Menurut (Muhib,2008) untuk mendapatkan gaya geser pada beban terpusat adalah sebagai berikut :

$$V = \frac{p}{L} \dots\dots\dots (2.49)$$

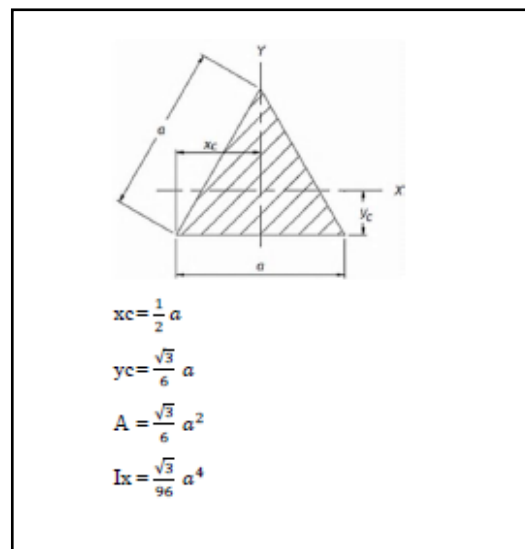
## 2.8 Momen Inersia Bentuk Penampang

Menurut (Djoko, 2017) untuk memperoleh besaran momen inersia bentuk penampang persegi dan segitiga dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut :



**Gambar2.13** Perhitungan momen inersia penampang persegi

(sumber: Djoko,2017)



**Gambar2.14** Perhitungan momen inersia penampang segitiga

(sumber: Djoko,2017)