BAB IV
METODE PENELITIAN

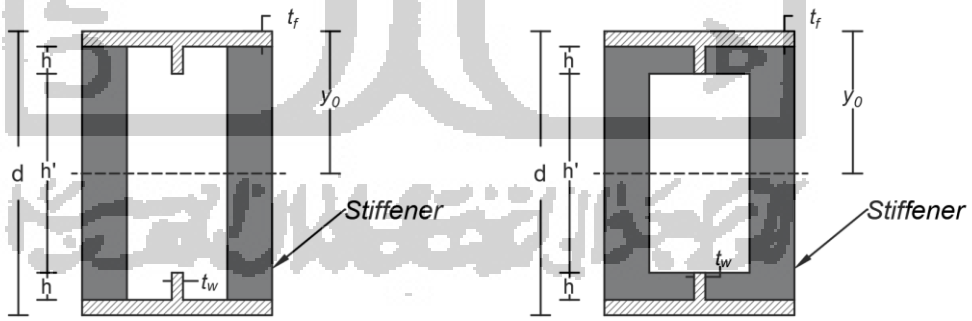
4.1 Umum

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini berupa metode eksperimen, metode dokumentasi yang dilakukan di laboratorium bahan konstruksi teknik, dan metode literatur. Penelitian ini dilakukan dengan cara memodifikasi bentuk profil baja IWF menjadi profil *castellated* atau *honeycomb* dengan dimensi 150x100x8x6. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui variasi bentuk *stiffener* terhadap penambahan panjang plastis (L_p).

4.2 Variabel Penelitian

Untuk mengetahui pengaruh variasi *stiffener* perlu dilakukan peninjauan dari beberapa aspek yang dijelaskan pada beberapa variabel penelitian berikut ini.

1. Variabel bebas, meliputi variasi bentuk *stiffener* yaitu baja *castellated* dengan *stiffener* yang dipasang pada setengah dari panjang sayap pada bagian lubang, *stiffener* yang dipasang pada bagian setengah dari panjang sayap dan badan pada bagian lubang. Berikut adalah gambar bentuk variasi *stiffener*.



Gambar 4.1 Variasi Bentuk *Stiffener*

2. Variabel terikat, meliputi kekuatan lentur dan pola runtuh pada baja *castellated.*
3. Variabel control, meliputi ukuran benda uji, tegangan leleh baja, dan teknik pengelasan.

4.3 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi bentuk *stiffener* terhadap kuat tekannya dan panjang plastis (L_p). data yang digunakan dalam analisis dibagi menjadi data parimer dan data sekunder.

1. Data Primer

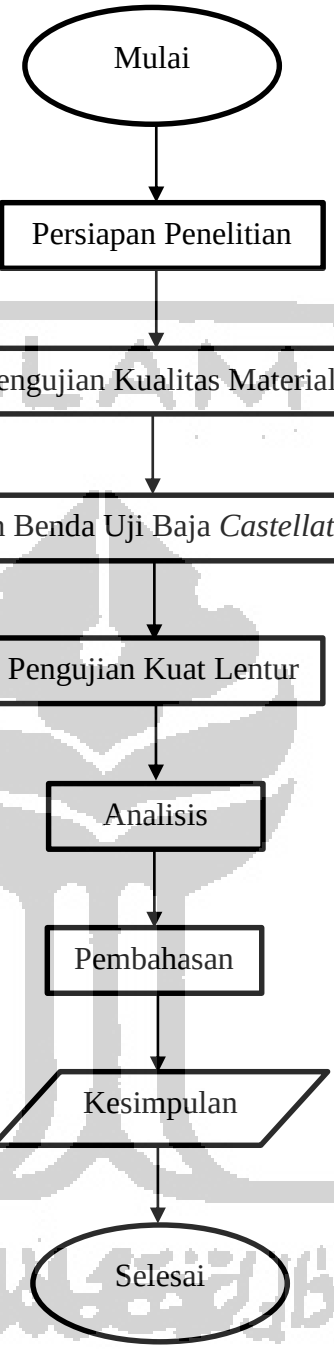
   Data primer adalah data yang didapat melalui wawancara, dokumentasi, hasil pengujian, dan observasi atau pengamatan di lapangan secara langsung. Maka, peneliti melakukan pengumpulan data dengan cara penelitian benda atau menggunakan metode observasi. Data primer yang dimaksud dalam penelitian ini adalah data yang didapat dari hasil pengujian baja *castellated* yang dipasangkan *stiffener* dengan bentuk bervariasi untuk mengetahui optimalisasi panjang plastis, kuat lentur, dan pola keruntuhannya.

2. Data Sekunder

   Data sekunder adalah data yang didapat dari penelitian lain atau penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini. Dalam penelitian ini, digunakan lebar potongan profil (e) pada lubang kastela tidak diperbolehkan melebihi dari 2 ½ h, jika lebar pemotongan profil (e) melebihi 2 ½ h, maka ada indikasi terjadi nilai *buckling* yang besar pada balok kastela, dari penelitian Masita Nur Hayati dan Suprapto (2013).

4.4 Pelaksanaan Penelitian

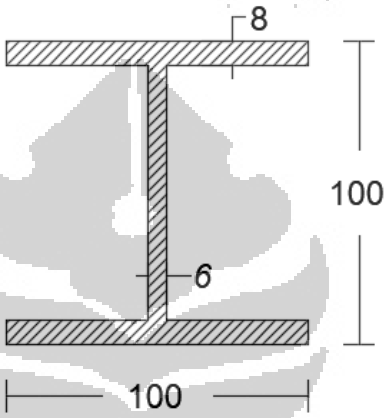
Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu, persiapan, pembuatan benda uji, pengujian, analisis data, dan penarikan kesimpulan. Berikut adalah bagan alir penelitian, dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian

4.4.1 Persiapan Penelitian

1. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Universal Testing Machine* (UTM), *Load frame*, *Dial Gauge*, *Strain Gauge*, dan *Linear Variable Differential Transformer* (LVDT).
2. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah profil WF 100x100x6x8 dan elektroda untuk pengelasan.
3. Dengan beban pada profil WF 100x100x6x8 adalah sebagai berikut



Gambar 4.3 Penampang Profil HWF 100x100x6x8

Menentukan nilai momen benda uji HWF dengan menggunakan rumus 3.1 di atas. Seperti pada perhitungan di bawah ini.

$$M = F_y \times Z_x \tag{4.1}$$

$$M = 245\ MPa \times 76.000\ \text{mm}^3$$

$$M = 18.620.000\ \text{Nmm}$$

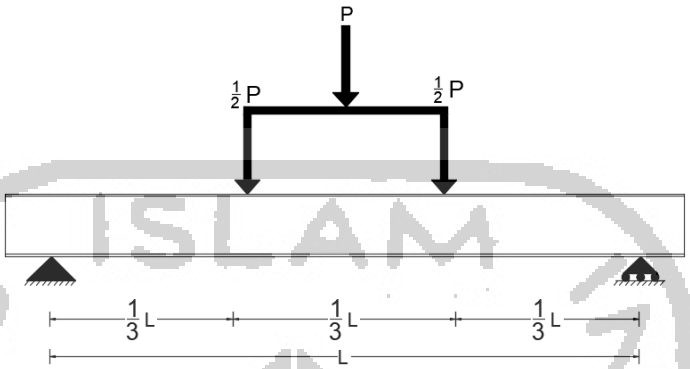
Keterangan:

M_n = Momen Nominal (Nmm).

F_y = Kuat Leleh Baja Dari Tabel Gunung Garuda (MPa).

Z_x = Modulus Plastis Penampang Terhadap Sumbu Kuat Dari Tabel Gunung Garuda (mm^3).

Menentukan Nilai Beban (P)



Gambar 4.4 Pembebanan Pada Profil HWF

$$M_n = \frac{1}{2}P \times \frac{1}{3}L \qquad (4.2)$$

$$M_n = \frac{1}{6}PL$$

$$P = M_n \times \frac{6}{L}$$

$$= 18.620.000 \times \frac{6}{2700}$$

$$= 41.378\ N$$

$$= 4{,}2\ Ton$$

Keterangan:

M_n = Momen Nominal (Nmm).

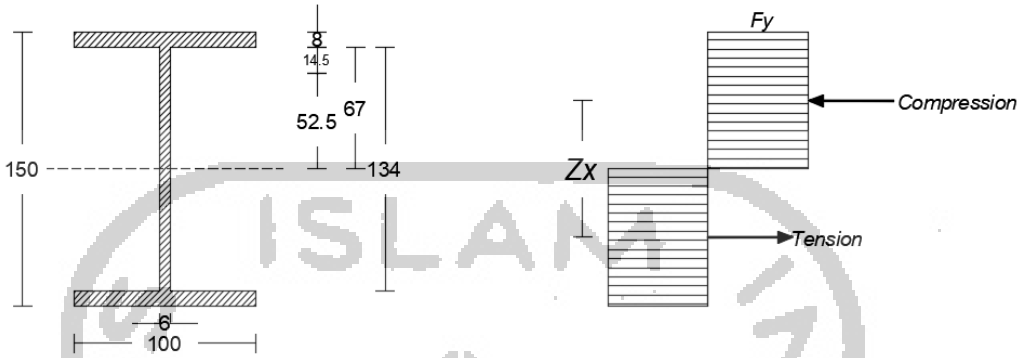
L = Panjang Balok (mm).

P = Beban (ton).

4. Menentukan beban pada baja profil sebelum dilakukan pengujian untuk menghindari beban yang melebihi kapasitas alat, adalah dengan cara sebagai berikut:

a. Benda Uji I

Menentukan Modulus Plastis Penampang (Z_x).



Gambar 4.5 Diagram Regangan Tegangan Benda Uji I

Mencari titik berat bidang tekan.

$$\bar{y} = \frac{\sum A \times y}{\sum A} \tag{4.3}$$

$$\bar{y} = \frac{(800 \times 71) + (402 \times 33{,}5)}{1.202}$$

$$= 58{,}458\ mm$$

Setelah mendapatkan nilai titik berat bidang tekan, maka nilai Z_x dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$Z_x = 2 \times \bar{y} \times A \tag{4.4}$$

$$Z_x = 2 \times 58{,}458 \times 1.202$$

$$= 140.534\ mm^3$$

Keterangan:

$\bar{y}$ = Titik Berat Penampang Tekan (mm).

y = Titik Berat Elemen Penampang Tekan (mm).

A = Luas Penampang Tekan (mm^2).

Z_x = Modulus Plastis Penampang (mm^3).

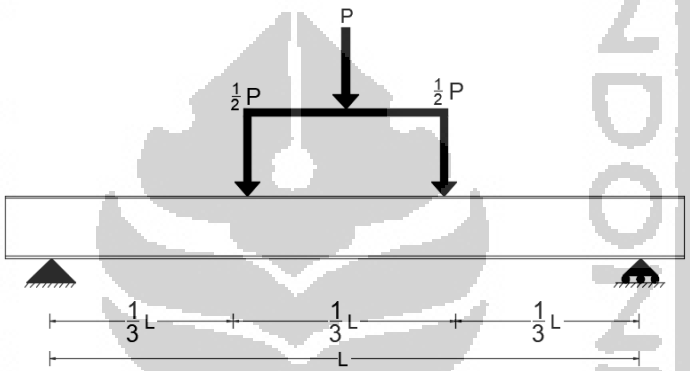
Menentukan Nilai Momen Nominal (M_n), nilai F_y yang digunakan merupakan nilai dari tabel gunung garuda.

$$M_n = F_y \times Z_x \quad (4.5)$$

$$= 245 \times 140{,}534$$

$$= 34.430.830\ Nmm$$

Menentukan Nilai Beban (P)



Gambar 4.6 Pembebanan Pada Benda Uji I

$$M_n = \frac{1}{2}P \times \frac{1}{3}L \quad (4.6)$$

$$M_n = \frac{1}{6}PL$$

$$P = M_n \times \frac{6}{L}$$

$$= 34.430.830 \times \frac{6}{1.197{,}613}$$

$$= 172.497{,}219\ N$$

$$= 17{,}25\ Ton$$

Keterangan:

M_n = Momen Nominal (Nmm).

F_y = Kuat Leleh Baja (MPa).

A = Luas Penampang Tekan (mm^2).

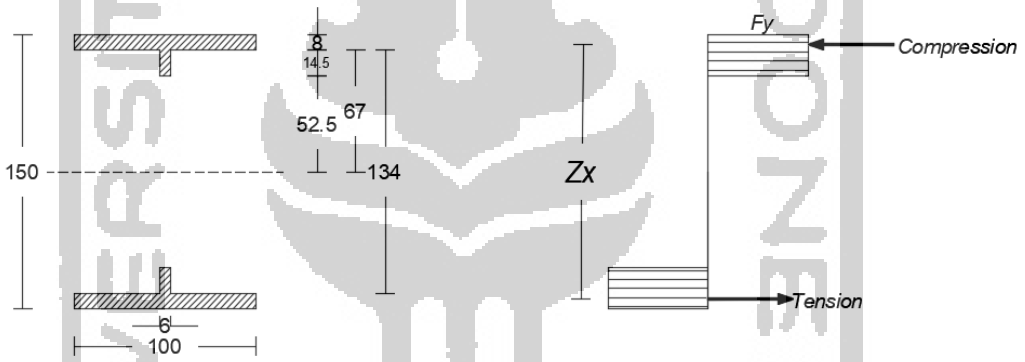
Z_x = Modulus Plastis Penampang (mm^3).

L = Panjang Balok (mm).

P = Beban (ton).

b. Benda Uji II

Menentukan Modulus Plastis Penampang (Z_x).



Gambar 4.7 Diagram Regangan Tegangan Benda Uji II

Mencari nilai Z_x dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$Z_x = A_f \times (h - t_f) \quad (4.7)$$

$$Z_x = 800 \times (150 - 8)$$

$$= 113.600\ mm^3$$

Keterangan:

h = Tinggi penampang (mm).

t_f = Tebal Sayap (mm).

A_f = Luas Penampang Bagian Sayap (mm^2).

Z_x = Modulus Plastis Penampang (mm^3).

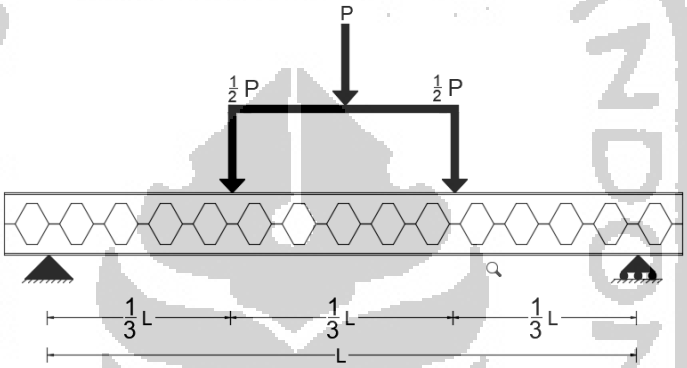
Menentukan Nilai Momen Nominal (M_n), nilai F_y yang digunakan merupakan nilai dari tabel gunung garuda.

$$M_n = F_y \times Z_x \quad (4.8)$$

$$= 245 \times 113.600$$

$$= 27.832.000 \ Nmm$$

Menentukan Nilai Beban (P)



Gambar 4.8 Pembebanan Pada Benda Uji I

$$M_n = \frac{1}{2}P \times \frac{1}{3}L \quad (4.9)$$

$$M_n = \frac{1}{6}PL$$

$$P = M_n \times \frac{6}{L}$$

$$= 27.832.000 \times \frac{6}{1.393,155}$$

$$= 61.848,89 \ N$$

$$= 6,1 \ Ton$$

Keterangan:

M_n = Momen Nominal (Nmm).

F_y = Kuat Leleh Baja (MPa).

A = Luas Penampang Tekan (mm^2).

Z_x = Modulus Plastis Penampang (mm^3).

L = Panjang Balok (mm).

P = Beban (ton).

5. Menentukan kekuatan pada bagian las.
   a. Tegangan pada bagian las berdasarkan kekuatan elektroda.

$$\phi R_{nw} = 0{,}8 t_e (0{,}6 F_{EXX}) \quad (4.10)$$

$$\phi R_{nw} = 0{,}8 \times 6 (0{,}6 \times 490)$$

$$\phi R_{nw} = 1.411{,}2 \ N/mm$$

Keterangan:

ϕR_{nw} = Tahanan nominal pada bagian las (N/mm).

t_e = Tebal efektif (mm).

F_{EXX} = Tegangan tarik untuk elektroda Kobe E7016 LB-52U (N/mm^2).

   b. Tegangan pada bagian las berdasarkan kekuatan baja.

$$\phi R_{nw} = 0{,}9 t_e (0{,}6 F_y) \quad (4.11)$$

$$\phi R_{nw} = 0{,}9 \times 6 (0{,}6 \times 245)$$

$$\phi R_{nw} = 793{,}8 \ N/mm$$

Keterangan:

ϕR_{nw} = Tahanan nominal pada bagian las (N/mm).

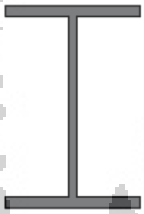
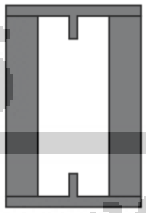
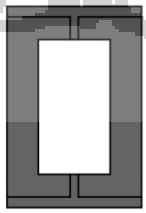
t_e = Tebal efektif (mm).

F_y = Tegangan leleh baja (N/mm^2).

6. Rekapitulasi hasil perhitungan nilai momen, nilai beban dan L_p.

Berikut adalah rekapitulasi hasil perhitungan nilai Momen (M_n), Beban (P) pada benda benda uji di atas dan hasil perhitungan nilai panjang plastis (L_p) sesuai dengan perhitungan SNI 1729:2015.

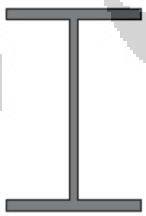
Tabel 4.1 Rekapitulasi Perhitungan Panjang Plastis (L_p)

No.	Benda Uji	Momen (M) (Nmm)	Beban (P) (Ton)	Panjang Plastis (L_p) (mm)
1		34.430.830	17,25	1.197,613
2		27.832.000	6,1	1381,57
3		27.832.000	6,1	1.858,247
4		27.832.000	6,1	1.730,984

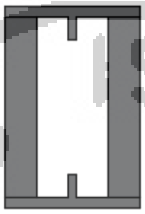
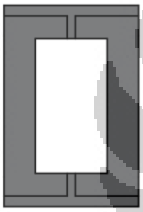
7. Menentukan panjang benda uji dan panjang *lateral bracing.*

   Panjang benda uji yang ditentukan adalah sepanjang 2.900 mm, nilai tersebut didapat dari hasil pengurangan dari baja utuh yang memiliki panjang 3.000 mm kemudian di-*castellated*, sehingga panjangnya menjadi 2.900 mm. Kemudian untuk panjang *lateral bracing* ditentukan menjadi dua variasi, yakni panjang *lateral bracing* sesuai dengan panjang benda uji dan panjang *lateral bracing* dengan hasil perhitungan nilai L_p dari SNI 1729:2015. Berikut adalah tabel yang menjabarkan nilai panjang benda uji dan variasi *lateral bracing*, dapat dilihat pada tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2 Nilai Panjang Benda Uji dan Variasi Panjang *Lateral Bracing*

No.	Benda Uji	Panjang Benda Uji (mm)	Variasi Panjang *Lateral Bracing* (mm)
1		2.900	2.900
			1.100
			1.100
2		2.900	2.900
			1.300
			1.300

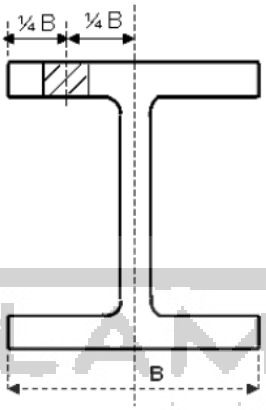
Lanjutan Tabel 4.3 Nilai Panjang Benda Uji dan Variasi Panjang *Lateral Bracing*

No.	Benda Uji	Panjang Benda Uji (mm)	Variasi Panjang *Lateral Bracing* (mm)
3		2.900	2.900
			1.800
			1.800
4		2.900	2.900
			1.700
			1.700

4.4.2 Pengujian Kualitas Material

Dalam tahapan pengujian kualitas material akan dilakukan pengujian, kuat tarik baja yang mengacu pada SNI 07-7178-2006 Baja Profil WF-beam canai panas, SNI 07-0371-1998 Batang Uji Tarik Untuk Bahan Logam, dan SNI 07-0408-1989 Cara Uji Tarik Logam. Berikut adalah uraian pengujiannya.

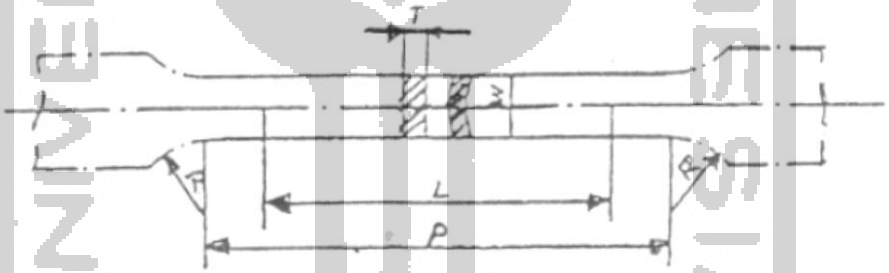
1. Pada SNI 07-7178-2006 Baja Profil WF-beam canai panas, posisi pengambilan benda uji dapat dilihat pada gambar 4.12 di bawah ini.



Gambar 4.9 Posisi Pengambilan Benda Uji

(Sumber: SNI 07-7178-2006)

2. Pada SNI 07-0371-1998 Batang Uji Tarik Untuk Bahan Logam, bentuk dan ukuran benda uji dapat dilihat pada gambar 4.13 di bawah ini.



Gambar 4.10 Bentuk dan dimensi benda uji

(Sumber: SNI 07-0371-1998)

3. Setelah bentuk dan ukuran benda ujia dibuat, kemudian ukur dimensi pada benda uji.
4. Tentukan panjang awal (L_o) dan beri tanda, kemudian pasang alat pembaca regangan (*strainometer*) pada titik yang telah ditentukan.
5. Setelah dilakukan persiapan di atas, kemudian dilakukan uji tarik menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM).
6. Apabila alat pembaca regangan sebelum penghujian selesai tidak lagi mampu membaca pertambahan panjang (panjangnya terbatas hanya sampai 10mm),

maka pembacaan regangan diganti dengan jangka manual dengan posisi jangka sama dengan penempatan *strainometer* sebagai patokan.

7. Setelah benda uji putus, satukan lagi kedua bagian benda uji, kemudian ukur panjang setelah di uji (L_u)
8. Kemudian nilai tarik dapat ditentukan dengan rumus:
   a. Tegangan Tarik Maksimum.

$$f_u = \frac{P_{Maks}}{A_O} \tag{4.21}$$

Keterangan:

f_u = Tegangan Tarik Maksimum (MPa).

P_{Maks} = Beban Maksimal (kgf).

A_O = Luas Penampang Sebelum di Uji (mm^2).

   b. Tegangan Tarik Leleh

$$f_y = \frac{P_y}{A_O} \tag{4.22}$$

Keterangan:

f_y = Teganga Tarik Leleh (MPa).

P_y = Beban Pada Saat Leleh (kgf).

A_O = Luas Penampang Sebelum di Uji (mm^2).

   c. Regangan Maksimum

$$\varepsilon_{maks} = \frac{L_u - L_O}{L_O} \times 100\% \tag{4.23}$$

Keterangan:

ε_{maks} = Regangan Maksimum.

L_u = Panjang Benda Uji Setelah Diuji (mm).

L_O = Panjang Benda Uji Sebelum Diuji (mm).

d. Modulus Elastisitas

$$E = \frac{\sigma_p}{\varepsilon_p} \tag{4.24}$$

Keterangan:

E = Modulus Elastisitas (N/mm^2)

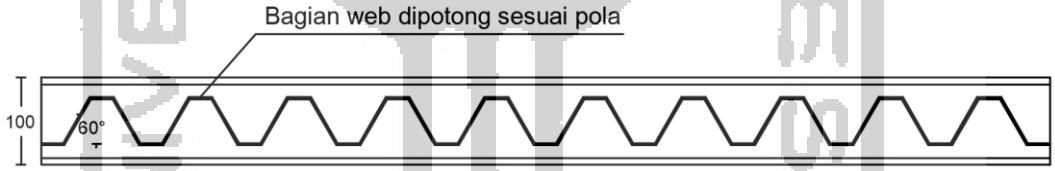
σ_p = Tegangan Hasil Dari Diagram Tegangan Regangan (N).

ε_p = Regangan Hasil Dari Diagram Tegangan Regangan (mm^2).

4.4.3 Pembuatan Benda Uji

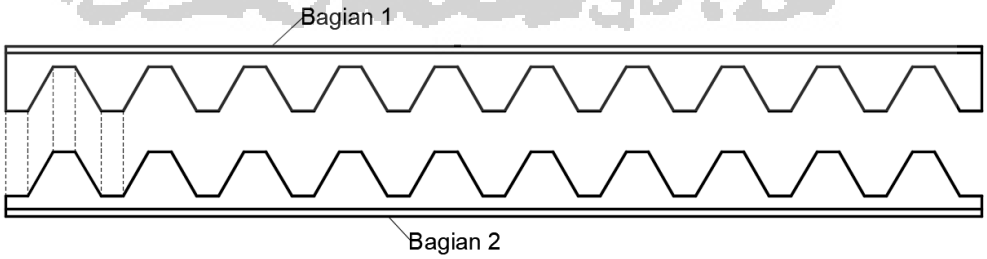
Pada tahap ini, benda uji yang berupa baja *castellated beam* yang berdimensi 150x100x6x8 dibuat menggunakan baja profil WF berdimensi 100x100x6x8. Uraian tahapan pembuatan benda uji adalah sebagai berikut.

1. Buat garis pola berbentuk *castella* atau trapesium menggunakan spidol dengan dimensi yang telah di tentukan, seperti pada gambar di bawah ini.



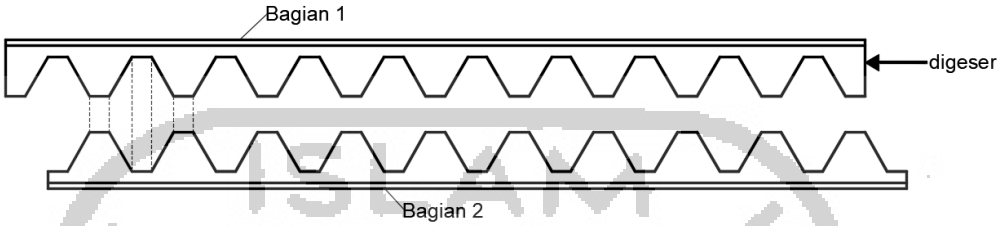
Gambar 4.11 Pembentukan Pola Pada Profil WF sebelum dipotong

2. Setelah membuat pola pada bagian badan baja profil WF, kemudian potong baja tersebut menggunakan grinda sesui pola. Seperti pada gambar dibawah ini.



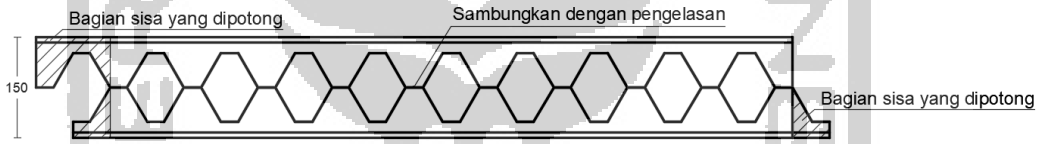
Gambar 4.12 Profil WF Setelah Dipotong

3. Kemudian baja yang telah dipotong digeser agar bagian terluar pada bagian satu dan bagian dua dapat disatukan, seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.13 Baja Profil WF Setelah Dipotong dan Digeser

4. Lalu satukan kedua bagian tersebut kemudian di-las dengan metode las tumpul penetrasi joint lengkap, seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.14 Profil *Castellated Beam* yang Telah Dibuat Menggunakan Profil WF

5. Metode pengelasan yang digunakan adalah metode las tumpul penetrasi joint lengkap dengan jenis *Square*, Seperti pada gambar di bawah ini.

Gambar 4.15 Las Tumpul Jenis *Square*

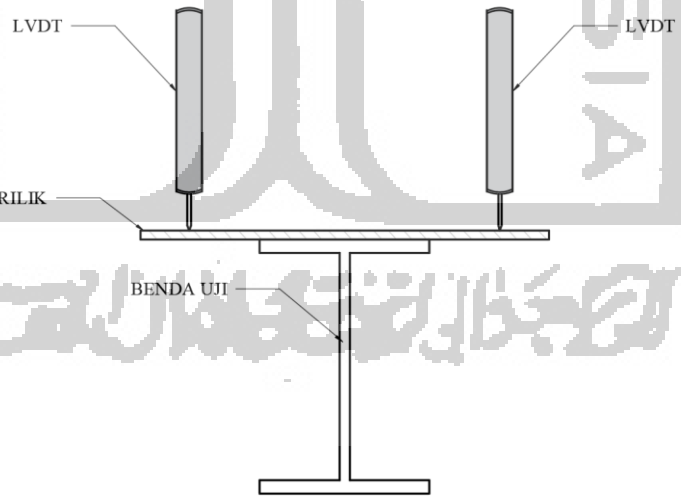
(Sumber: Charles G. Salmon dan John E. Johnson, 1995)

6. Setelah baja *castellated beam* telah jadi, kemudian beberapa baja *castella* dipasangkan *stiffener* sesuai dengan perhitungan yang sudah dilakukan sebelumnya.

4.4.4 Pengujian Kuat Lentur

Pada pengujian kuat lentur balok baja kastela ini diadaptasi dari SNI 4431-2011 cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan, dilakukan dengan menggunakan mesin uji *load frame* yang dimiliki Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, cara pengujian kuat lentur adalah sebagai berikut.

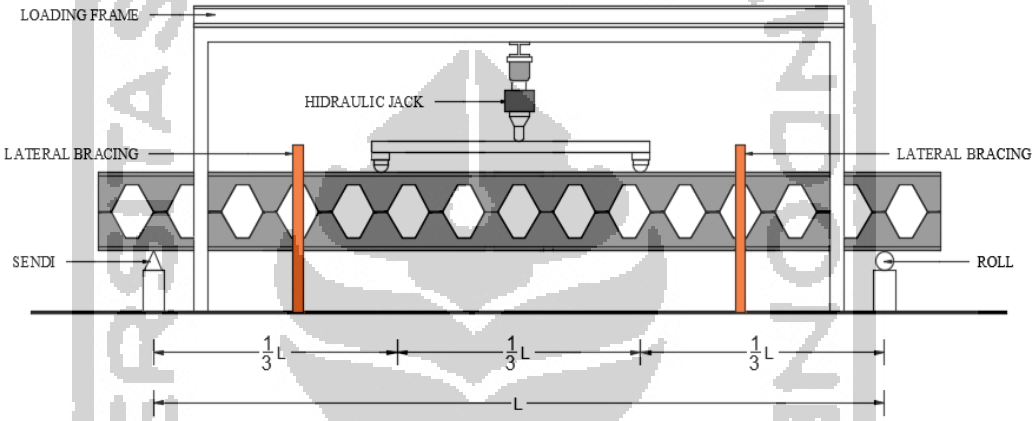
1. Ukur dan catat dimensi penampang benda uji dengan menggunakan penggaris atau meteran.
2. Pasang *strain gauge* pada bagian sayap dan badan benda uji.
3. Tempatkan benda uji yang sudah diukur di atas tumpuan sehingga letak benda uji tepat pada pusat tumpuan.
4. Letakkan LVDT sesuai dengan tempat yang telah ditentukan, seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.16 Tempat Peletakan LVDT Pada Benda Uji

5. Atur letak titik pembebanan di sepertiga panjang dari bagian kiri balok dan sepertiga panjang dari bagian kanan balok sesuai dengan panjang benda ujinya.

6. Atur letak *lateral bracing* sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya.
7. Lakukan pembebanan dengan dua titik pembebanan.
8. Kecepatan pembebanan dilakukan secara kontinu.
9. Hentikan pembebanan dan catat beban maksimum yang menyebabkan kegagalan pada benda uji.



Gambar 4.17 *Setting Up* Alat Uji Kuat Lentur

4.4.5 Tahapan Analisis Data

Hasil pengujian benda uji baja *castellated beam* berupa beban (P), nilai pembacaan *strain gauge* ketika benda uji pertama kali memgalami *lateral torsional buckling*, modulus elastisitas, momen plastis, dan inersia penampang, kemudian dianalisis.

4.4.6 Tahapan Pembahasan dan Kesimpulan

Pada tahap ini akan dilakukan analisis data dari hasil pengujian yang telah dilakukan dan penarikan kesimpulan pengaruh variasi bentuk *stiffener* terhadap *lateral torsional buckling* pada baja *castellated beam.*