

BAB III

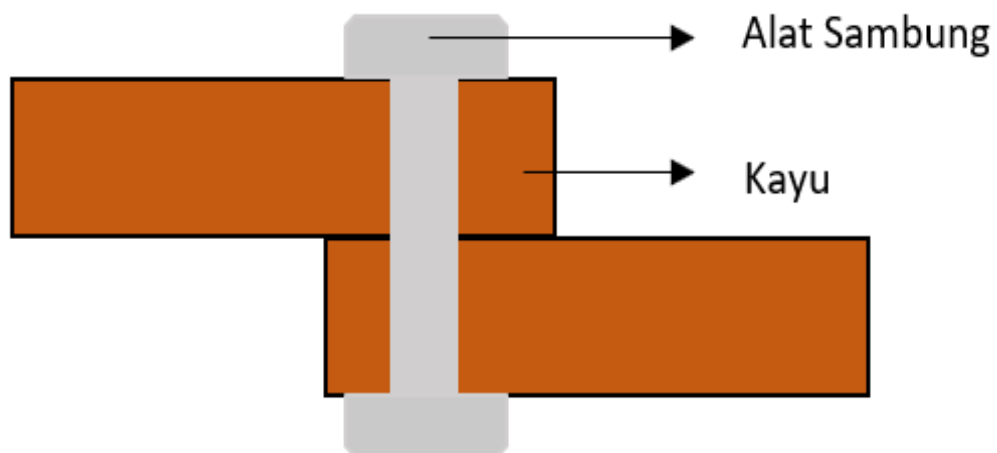
LANDASAN TEORI

3.1 Bambu Laminasi

Bambu laminasi merupakan material yang terbuat dari lapisan-lapisan bambu yang direkatkan dengan perekat kimia pada arah serat yang seragam. Ketebalan bambu laminasi yang diizinkan dalam satu layernya adalah sebesar 50 mm. Proses pembuatan bambu laminasi diawali dari pemotongan bambu menjadi lembaran-lembaran dan dihaluskan, kemudian dilakukan perekatan dan pengempaan hingga diperoleh bentuk lamina dengan ketebalan yang diinginkan. Sifat akhir bambu laminasi dipengaruhi oleh banyaknya ruas yang ada dan perekat yang digunakan.

3.2 Sambungan Geser Satu Irisan

Sambungan geser satu irisan pada kayu yaitu sambungan pada dua batang kayu yang hanya menggunakan satu sisi kayu sebagai tempat alat sambung yang terbuat dari kayu ataupun material lain yang menjadikan sambungan lebih kuat. Contoh dari sambungan kayu dengan metode satu irisan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Sketsa Sambungan Kayu dengan Metode Satu Irisan

3.3 European Yield Model (EYM)

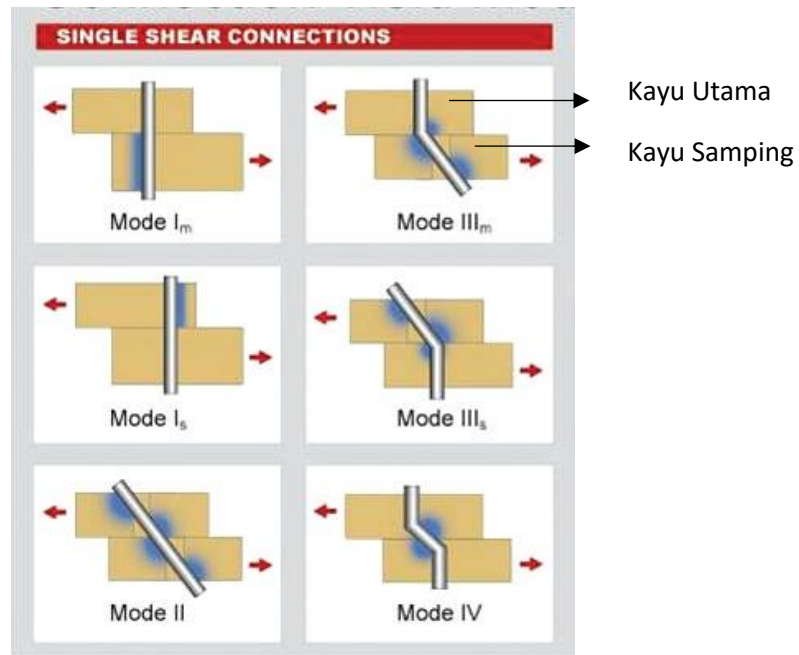
European Yield Model (EYM) adalah teori yang menjadi acuan perhitungan kekuatan sambungan kayu yang kemudian diadopsi oleh *American Forest & Paper Association (AF & PA)* sebagai dasar *National Design Specification (NDS) for Wood Construction* untuk analisis perhitungan tahanan lateral sambungan kayu. Terdapat tiga parameter utama dalam perhitungan kekuatan sambungan berdasarkan metode EYM, yaitu kuat tumpu kayu, kuat lentur alat sambung, dan geometri sambungan kayu. Beberapa asumsi dasar dari penggunaan teori EYM adalah:

1. material bersifat homogen dan berperilaku *elastoplastic*,
2. komponen sambungan dengan bahan kayu bersifat *orthotropic*,
3. komponen sambungan dengan bahan besi bersifat *isotropic*,
4. tegangan dan regangan yang terjadi pada alat sambung diabaikan,
5. tegangan terdistribusi merata terjadi di sepanjang kayu dibawah alat sambung,
6. tahanan geser pada sambungan diabaikan, dan
7. bagian ujung alat sambung bebas berotasi.

Model *European Yield Model (EYM)* hanya digunakan untuk mencari beban pada titik leleh suatu sambungan, sedangkan untuk menentukan beban maksimum digunakan metode *offset 5% diameter*.

3.4 National Design Specification (NDS) For Wood Construction

Menurut *National Design Specification* terdapat empat mode kegagalan yang terjadi pada sambungan kayu dengan tinjauan geser satu irisan. Keempat mode kegagalan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Mode Kegagalan dengan Tinjauan Geser Satu Irisan Menurut *National Design Specification (NDS) for Wood Construction*
(Sumber: Internet 03:01)

Berikut adalah penjelasan maksud dari Gambar 3.2 Mode Kegagalan dengan Tinjauan Geser Satu Irisan Menurut *National Design Specification (NDS) for Wood Construction*.

1. Mode I_m = Komponen kayu utama dan alat penyambung belum mengalami kegagalan / masih berperilaku elastis.
2. Mode I_s = Komponen kayu samping dan alat sambung belum mengalami Kegagalan / masih berperilaku elastis.
3. Mode II = Kegagalan tumpu pada komponen kayu utama dan kayu samping, Sedangkan alat penyambung belum mengalami kegagalan namun hanya berotasi.
4. Mode III_m = Kegagalan tumpu kayu utama disertai dengan satu sendi plastis pada alat sambung dalam satu bidang geser.
5. Mode III_s = Kegagalan tumpu kayu samping disertai dengan satu sendi plastis pada alat sambung dalam satu bidang geser.
6. Mode IV = Terbentuknya dua sendi plastis pada alat penyambung dalam satu bidang geser.

Berdasarkan mode kegagalan yang terjadi pada sambungan kayu, persamaan NDS dapat menentukan nilai tahanan lateral pada sambungan kayu. Persyaratan yang ditentukan dalam penggunaan nilai tahanan lateral sambungan dengan alat sambung baut berdasarkan NDS adalah:

1. ukuran lubang baut tidak lebih dari 1,6 mm diameter baut,
2. permukaan kayu pada sambungan saling menempel satu sama lain,
3. jarak ujung, jarak tepi dan jarak antar alat sambung harus memenuhi persyaratan NDS, dan
4. beban yang terjadi pada sambungan merupakan beban yang tegak lurus arah sumbu axis alat sambung.

Persamaan untuk menghitung tahanan lateral sambungan kayu berdasar *National Design Specification (NDS) for Wood Construction* dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Persamaan Batas Leleh

Mode Kegagalan	Geser Tunggal
I _m	$Z = \frac{D l_m F_{em}}{R_d}$
I _s	$Z = \frac{D l_s F_{es}}{R_d}$
II	$Z = \frac{k_1 D l_s F_{es}}{R_d}$
III _m	$Z = \frac{k_2 D l_s F_{em}}{(1 + 2R_e)R_d}$
III _s	$Z = \frac{k_3 D l_s F_{em}}{(2 + R_e)R_d}$
IV	$Z = \frac{D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} f_{yb}}{3(1 + R_e)}}$

Catatan :

$$k_1 = \frac{\sqrt{R_e + 2R_e^2(1 + R_t + R_t^2) + R_t^2 R_e^3 - R_e(1 + R_t)}}{(1 + R_e)}$$

$$k_2 = -1 + \sqrt{2(1 + R_e) + \frac{2f_{yb}(1 + 2R_e)D^2}{3F_{em} l_m^2}}$$

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2f_{yb}(2 + R_e)D^2}{3F_{em} l_s^2}}$$

Keterangan :

D = diameter (mm)

F_{yb} = kuat lentur pasak (MPa)

R_d = syarat reduksi

$R_e = F_{em} / F_{es}$

$R_t = l_m / l_s$

l_m = panjang tumpu pasak pada komponen struktur utama (mm)

l_s = panjang tumpu pasak pada komponen struktur samping (mm)

F_{em} = kekuatan tumpu pasak pada komponen struktur utama (MPa)

F_{es} = kekuatan tumpu pasak pada komponen struktur samping (MPa)

Tabel 3.2 Penentuan Besar Nilai Reduksi (Rd)

Ukuran alat sambung	Mode kegagalan	Nilai reduksi (Rd)
$6,35\text{mm} \leq D \leq 25,4\text{mm}$	I_m, I_s	$4 K\theta$
	II	$3,6 K\theta$
	III_m, III_s, IV	$3,2 K\theta$
$D \leq 6,35\text{mm}$	$I_m, I_s, II, III_m, III_s, IV$	K_D

Keterangan :

$$K\theta = 1 + 0,25 \left(\frac{\theta}{90}\right)$$

θ = sudut maksimum antara arah beban dan arah serat kayu ($0 \leq \theta \leq 90$)

D = diameter terukur baut pada bagian polos (mm)

$$K_D = 2,2 \quad \text{untuk } D \leq 4,318\text{mm}$$

$$= 10 D + 0,5 \quad \text{untuk } 4,318\text{mm} < D < 5,35\text{mm}$$

3.5 Pengujian Kuat Tumpu

Tujuan pengujian kuat tumpu adalah untuk mengetahui beban statis yang mampu ditahan serta karakteristik dari deformasi yang timbul akibat beban yang bekerja.

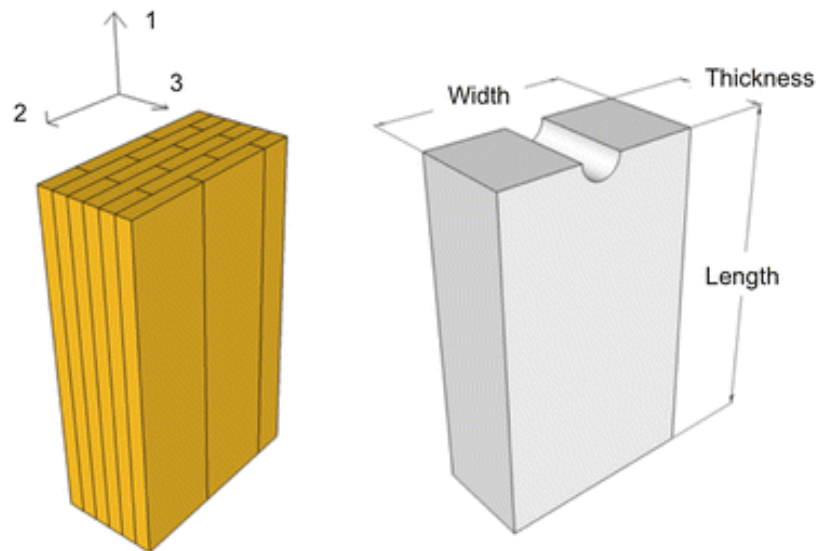
3.5.1 Ketentuan Pengujian Kuat Tumpu

Pengujian kuat tumpu pada benda uji bambu laminasi didasarkan pada standar ASTM D5764 (*Standart Test Method for Evaluating Dowel-Bearing Strenght of Wood Based Products*). Setidaknya terdapat 4 (empat) ketentuan pengujian kuat tumpu kayu pada ASTM D5764 sebagai berikut.

1. Terdapat 2 metode yang dapat dilakukan pada pengujian kuat tumpu, yaitu metode setengah lubang (*half hole method*) dan metode lubang penuh (*full hole method*).
2. Untuk menghindari terjadinya belah (*splitting*) pada benda uji, maka dimensi benda uji pada metode setengah lubang (*half hole method*) ditentukan sebagai berikut;

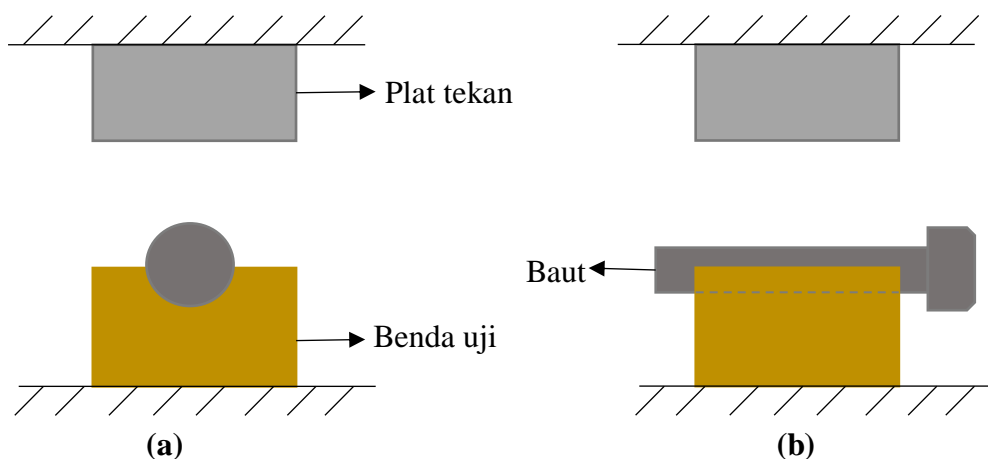
tebal	\geq nilai terkecil dari 1,5 inch atau 2 kali diameter baut,
lebar	\geq nilai terbesar dari 2 inch atau 4 kali diameter baut, dan
panjang	\geq nilai terbesar dari 2 inch atau 4 kali diameter baut.

Sketsa dari benda uji dalam pengujian kuat tumpu bambu laminasi dengan metode setengah lubang (*half hole method*) dapat dilihat pada Gambar 3.3.



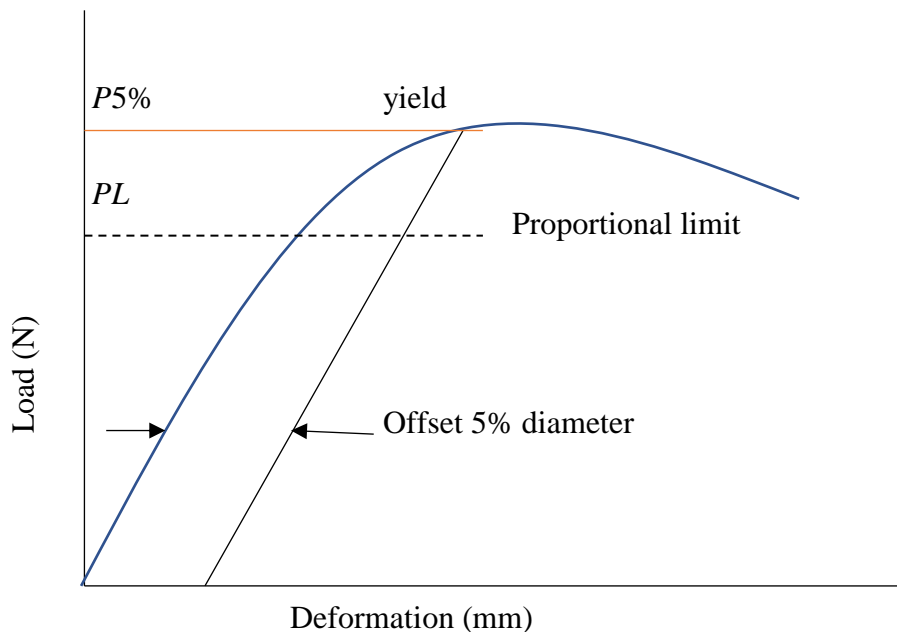
Gambar 3.3 Sketsa Benda Uji Half Hole Method (ASTM D5764,2007)
(Sumber Internet 03.02)

3. Langkah dalam pengujian metode setengah lubang adalah:
- baut diletakkan pada lubang yang terdapat pada benda uji dan
 - benda uji diletakkan pada mesin UTM sedemikian rupa sehingga beban tekan yang diberikan alat dapat merata sepanjang baut. Gambar 3.4 berikut ini menunjukkan skema tampak depan dan tampak samping benda uji.



Gambar 3.4 Sketsa Tampak Depan Benda Uji (a) dan Sketsa Tampak Samping Benda Uji (b)

4. Perhitungan nilai kuat tumpu dilakukan dengan 2 metode yaitu metode beban *offset* 5% diameter ($P_{5\%}$) dan metode beban maksimum ($P_{maksimum}$). Nilai $P_{5\%}$ merupakan titik potong antara grafik hasil pengujian dengan garis *offset* 5% diameter terukur baut, yang dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Grafik Beban vs Deformasi

3.5.2 Perhitungan Nilai Kuat Tumpu Bambu Laminasi

Analisis perhitungan nilai kuat tumpu material bambu laminasi dilakukan dengan 2 metode, yaitu metode beban maksimum ($P_{maksimum}$) dan metode *offset* 5% diameter ($P_{5\%}$). Cara perhitungan dari kedua metode tersebut dapat dilihat pada persamaan 3.1 dan 3.2.

$$Fe = \frac{P_{maksimum}}{D \cdot t} \quad (3.1)$$

$$Fe = \frac{P_{5\%}}{D \cdot t} \quad (3.2)$$

Keterangan:

Fe = Kuat tumpu (MPa)

- $P_{5\%}$ = Beban offset 5% diameter (N)
 D = Diameter baut (mm)
 t = Tebal benda uji (mm)
 $P_{maksimum}$ = Beban maksimum (N)

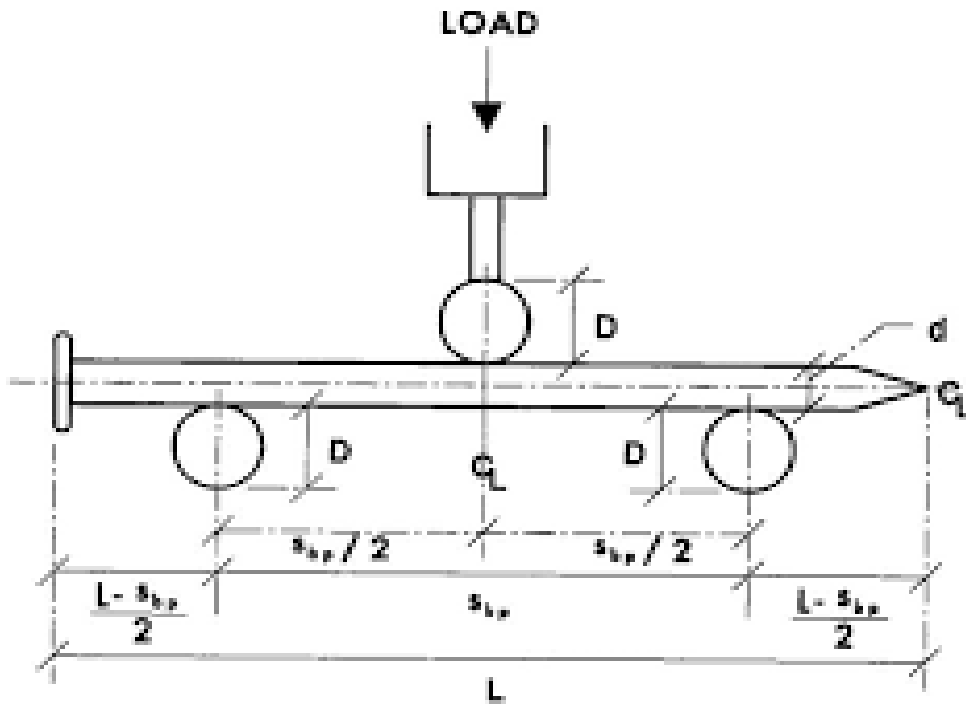
3.5.3 Analisa Hipotesis

Analisis hasil pengujian dilakukan pada nilai kuat tumpu bambu laminasi dengan variasi diameter baut, yaitu 8mm, 10mm, 12mm. Analisis pada nilai kuat tumpu bambu laminasi menggunakan *Analysis of Variance (Anova) single factor* dengan *ms.excel 2016*, dimaksudkan untuk menunjukkan apakah besar diameter baut penekan mempengaruhi besar nilai kuat tumpu atau tidak.

Langkah pertama *Anova* yaitu membuat 2 hipotesis. Hipotesis pertama (H_0) menyatakan variasi diameter baut penekan 8 mm, 10 mm, 12mm tidak berpengaruh pada kuat tumpu bambu laminasi. Hipotesis kedua (H_1) menyatakan variasi diameter baut penekan 8 mm, 10 mm, 12 mm berpengaruh pada kuat tumpu bambu laminasi. Langkah kedua adalah memasukkan nilai kuat tumpu hasil pengujian kedalam *Anova* dengan tingkat signifikansi (α) 0,05. Hasil dari analisis kemudian diambil sebuah kesimpulan, H_0 diterima jika $F_{hitung} \leq F_{kritik}$, dan H_0 ditolak apabila $F_{hitung} \geq F_{kritik}$.

3.6 Kuat Lentur Baut

Pengujian kuat lentur baut mengacu pada standar ASTM F1575-03 (*Standart Test Method for Determining Bending Yield Moment of Nails*) bertujuan untuk mengetahui nilai kuat lentur baut (f_{yb}). Pengujian lentur baut ini adalah modifikasi dari standar ASTM pada pengujian paku, dikarenakan tidak adanya standar ASTM mengenai pengujian lentur baut. Gambar 3.6 berikut ini merupakan skema pengujian berdasarkan ASTM F1575-03.



Gambar 3.6 Skema Pengujian Paku Berdasar pada ASTM F1575-03
(Sumber: ASTM F1575-03)

Keterangan:

- D = Diameter tumpuan (mm)
 d = Diameter polos paku (mm)
 L = Panjang paku (mm)
 s_{bp} = Jarak antar tumpuan (mm)

Ketentuan pengujian kuat lentur paku/baut menurut standar ASTM F1575-03 adalah sebagai berikut.

1. Mengukur diameter tumpuan (D).
2. Jarak tumpuan ditetapkan berdasar jarak tumpuan uji lentur paku ASTM F1575-03 yang telah disesuaikan dengan besar diameter polos baut dan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Jarak Tumpuan Uji Lentur Baut (ASTM F1575-03)

<i>Nail nominal diameter (in) tolerance per spesification F1667</i>	<i>Lenght between bearing points (in)</i>
0,099	1,1
0,113	1,3
0,12	1,4
0.131	1,5
0,148	1,7
0,162	1,9
0,19	2,2
<i>Longer than 0,190</i>	<i>11,5 times the nail diameter, rounded to the nearest tenth of an inch</i>

3. Pembebanan dilakukan dengan kecepatan konstan maksimum 6,35mm/menit.
4. Penentuan nilai kuat lentur baut maksimum menggunakan dasar *European Yield Model (EYM)*.
5. Penentuan nilai kuat lentur baut (f_{yb}) dihitung berdasarkan Persamaan 3.3.

$$f_{yb} = \frac{3 \cdot P \cdot S_{bp}}{2 \cdot D^3} \quad (3.3)$$

Keterangan :

f_{yb} = Kuat lentur baut (MPa)

P = Beban leleh baut berdasar 5% *offset* diameter baut (N)

S_{bp} = Jarak antar tumpuan (mm)

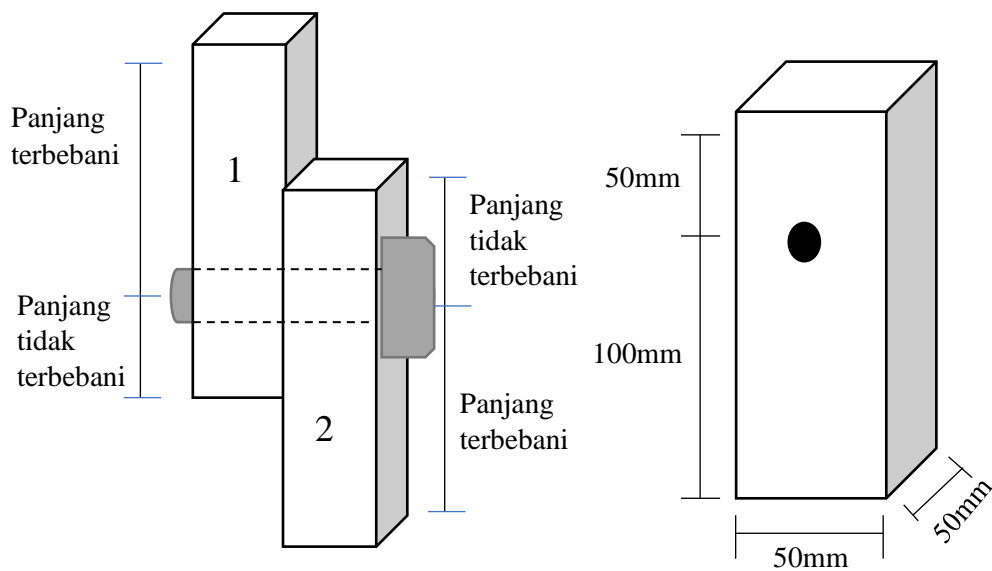
D = Diameter polos pada baut (mm)

3.7 Pengujian Kuat Sambungan

Pengujian kuat sambungan bertujuan untuk mengetahui kapasitas sambungan bambu laminasi dengan alat sambung baut. Kapasitas sambungan bambu laminasi merupakan nilai beban maksimum pada pengujian kuat sambungan. Pengujian yang dilakukan berpedoman pada ASTM D5764. Mekanisme pengujian kuat sambungan

dengan tinjauan geser satu irisan yang ditentukan oleh ASTM D5764 adalah sebagai berikut.

1. Penentuan dimensi benda uji adalah sebagai berikut:
 - a. tebal \geq nilai terkecil dari 1,5" atau $2 \times \text{Ø}$ baut
 - b. lebar \geq nilai terbesar dari 2" atau $4 \times \text{Ø}$ baut
 - c. panjang terbebani \geq nilai terbesar dari 2" atau $4 \times \text{Ø}$ baut
 - d. panjang tidak terbebani \geq nilai terbesar dari 1" atau $2 \times \text{Ø}$ baut



Gambar 3.7 Sketsa Dimensi Benda Uji Minimum

2. Ketentuan dalam pengujian adalah:
 - a. spesimen dengan kode 1 merupakan kayu utama,
 - b. kode 2 merupakan kayu samping,
 - c. pembebanan yang dilakukan saat pengujian harus tepat berada pada as sumbu kayu utama, agar tidak terjadi momen,
 - d. laju pembebanan ditetapkan konstan pada 1,270 mm/menit hingga mencapai beban maksimumnya, dan
 - e. penentuan nilai tahanan lateral berdasarkan teori $P_{5\%}$ *European Yield Model* (EYM).

3.8 Koreksi Data dan Prediksi Nilai Optimum

Rumus yang digunakan dalam koreksi data hasil pengujian dan prediksi nilai optimum yang dilakukan, dapat dilihat pada sub-bab 3.8.1 sampai 3.8.3 berikut.

1. Koreksi Data Hasil Pengujian

Koreksi linieritas data diperlukan sebagai koreksi karena pada awal pengujian terjadi ketidakmampuan benda uji, sehingga seolah-olah benda uji telah mengalami deformasi. Koreksi dilakukan dengan menghitung regresi linier dari nilai-nilai pada grafik hasil pengujian.

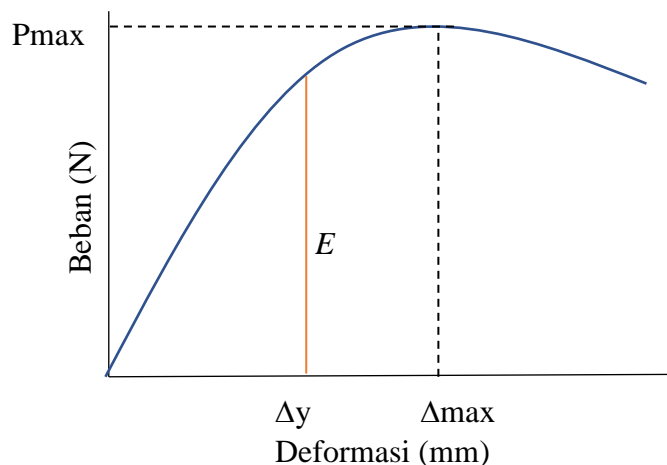
$$\begin{aligned} y &= ax + b \\ d &= \frac{-b}{a} \\ X_1 &= X_0 - d \end{aligned} \quad (3.4)$$

Keterangan:

- d = Besar nilai koreksi
- X_0 = Besar variabel bebas sebelum koreksi
- X_1 = Besar variabel bebas setelah koreksi

2. Nilai-nilai Penting dalam Grafik Hasil Pengujian

Nilai-nilai penting seperti elastisitas (E), daktilitas (μ), dan beban maksimum (P_{max}) diperlukan untuk menentukan kualitas dari material yang diuji sebagai syarat ketika akan digunakan dalam suatu struktur bangunan.



Gambar 3.8 Penentuan Nilai Penting dalam Grafik Hasil Pengujian

$$\mu = \frac{\Delta max}{\Delta y} \quad (3.5)$$

Keterangan :

μ = Daktilitas benda uji

Δmax = Deformasi maksimum

Δy = Batas elastis benda uji

3. Prediksi Nilai Optimum/Minimum

Nilai optimum/ minimum digunakan untuk menentukan rata-rata kekuatan dari suatu material struktur bangunan. Nilai optimum didapat dari penurunan rumus regresi polinomial yang dimaksudkan untuk menentukan fungsi polinomial paling sesuai dalam hal ini ukuran diameter baut dalam sambungan.

$$y = ax^2 + bx + c$$

$$R^2 = 1$$

$$\frac{dy}{dx} = 2ax + b$$

$$\emptyset_{opt} \longrightarrow 0 = 2ax + b$$

$$2ax = -b$$

$$x = \frac{-b}{2a} \quad (3.6)$$

Keterangan:

x = Variabel bebas

y = Variabel terikat

R^2 = Koefisien determinasi