

BAB V ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

1.1. Analisis Hasil Pengujian

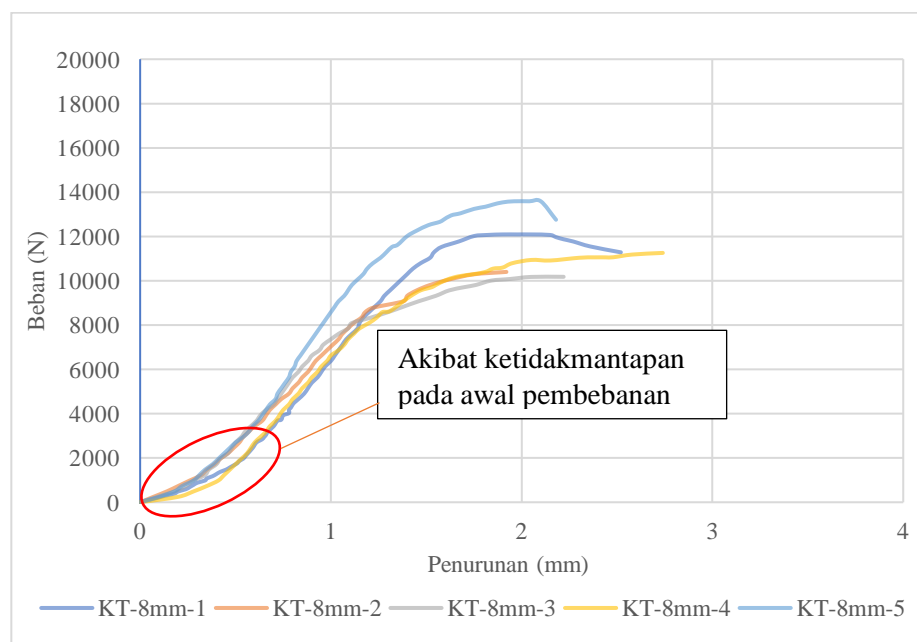
Analisis data hasil pengujian yang dilakukan, dapat dilihat pada sub bab 5.1.1 sampai sub bab 5.1.4 berikut.

1.1.1 Perhitungan Koreksi Linieritas Grafik Hasil Pengujian

Koreksi linieritas pada grafik hasil pengujian dilakukan karena pada grafik tidak terjadi linieritas di awal pembebanan. Grafik hasil pengujian menjadi tidak linier pada awal pembebanan antara lain disebabkan oleh :

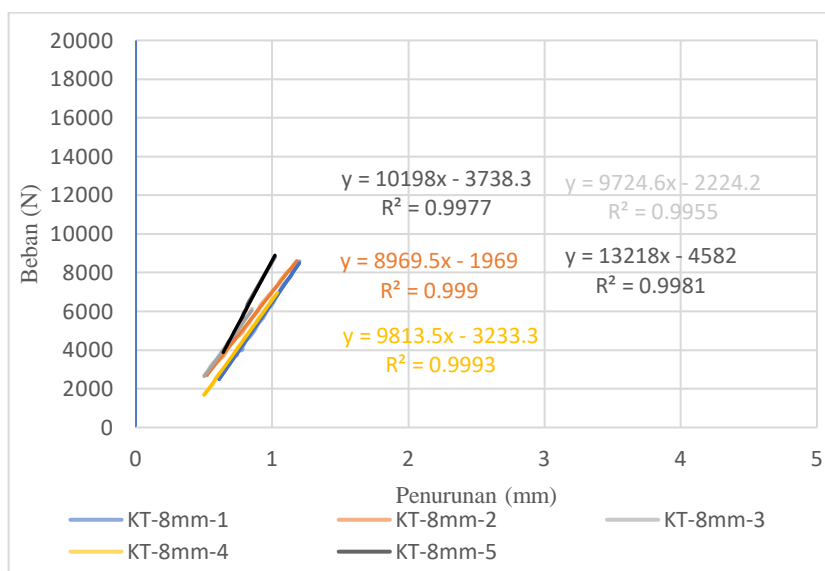
- a. terjadi pergeseran benda uji akibat penguncian dengan klem yang kurang mantap,
- b. adanya rongga antara baut dengan permukaan bambu laminasi,
- c. penguncian baut benda uji yang kurang mantap, dan
- d. alat penekan belum benar-benar menekan seluruh permukaan benda uji.

Beberapa faktor diatas mengakibatkan sulitnya membuat garis offset untuk mencari nilai $P_{5\%}$ dan juga besar penurunannya menjadi kurang valid maka perlu dilakukan koreksi linieritas menggunakan pendekatan regresi linier. Berikut ini adalah grafik hasil uji kuat tumpu pada benda uji KT-8mm.



Gambar 5.1 Grafik Hasil Pengujian KT-8mm

Proses perhitungan diawali dengan membuat garis pada grafik pengujian melalui coba-salah secara observasi visual, kemudian dilanjutkan secara numeris dengan mencari nilai korelasi R^2 antara Penurunan, x dan Gaya Desak, y . Proses pencarian garis dihentikan ketika didapat garis pendekatan mempunyai nilai R^2 paling tinggi. Berikut ini adalah contoh garis pendekatan grafik hasil uji kuat tumpu pada benda uji KT-8mm.

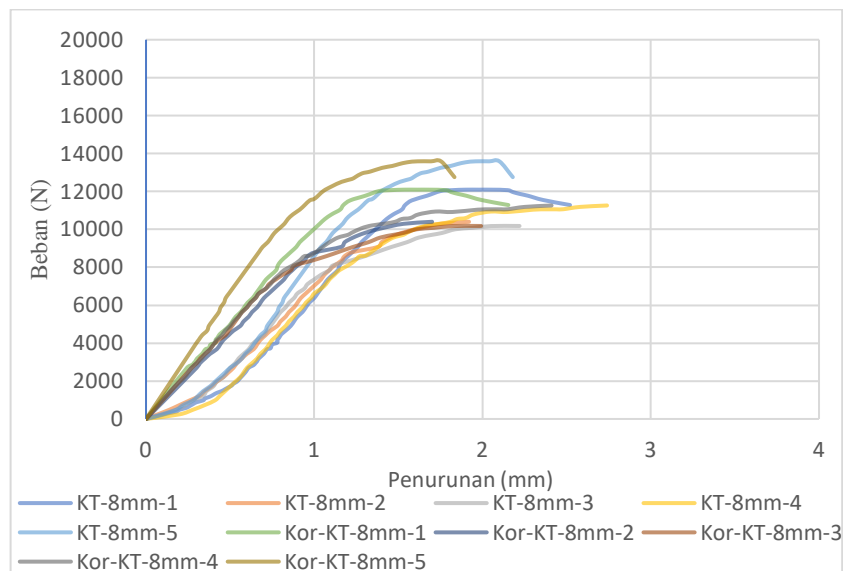


Gambar 5.2 Garis Bantu dan R^2 dari Grafik Hasil Pengujian KT-8mm

Dari Gambar 5.2 didapat nilai-nilai yang dibutuhkan untuk menghitung besar nilai koreksi pergeseran (d). Berikut ini adalah contoh perhitungan nilai d pada benda uji KT-8mm-5.

$$\begin{aligned}
 y &= 13218x - 4582 \\
 R^2 &= 0,9981 \\
 d &= -b / a \\
 &= 4582 / 13218 \\
 &= 0,329475
 \end{aligned}$$

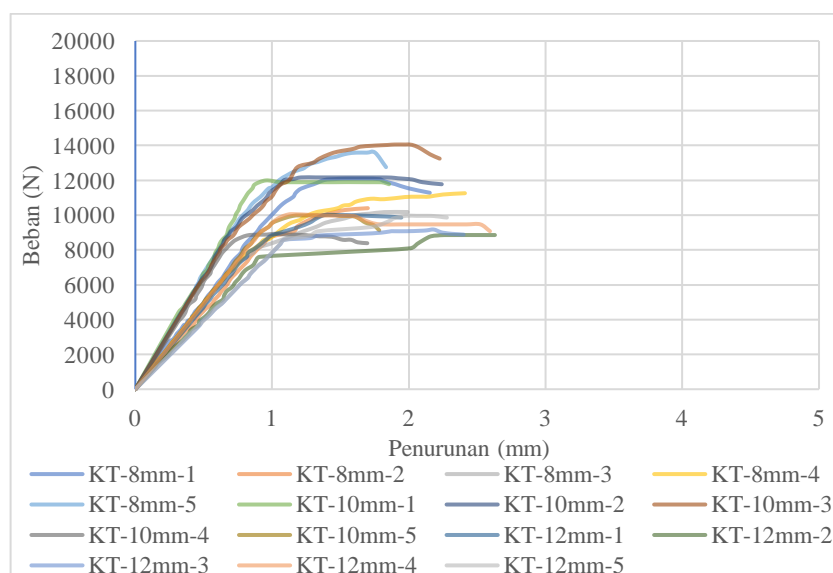
Setelah didapatkan nilai d , kemudian nilai penurunan hasil pengujian dikurangi nilai d dan dimasukkan kedalam grafik sehingga didapat grafik seperti pada Gambar 5.3. Sedangkan grafik hasil koreksi dari pengujian lainnya dapat dilihat pada Lampiran 12 sampai Lampiran 14.



Gambar 5.3 Grafik Pengujian Kuat Tumpu KT-8mm Hasil Koreksi

1.1.2 Kuat Tumpu Bambu Laminasi

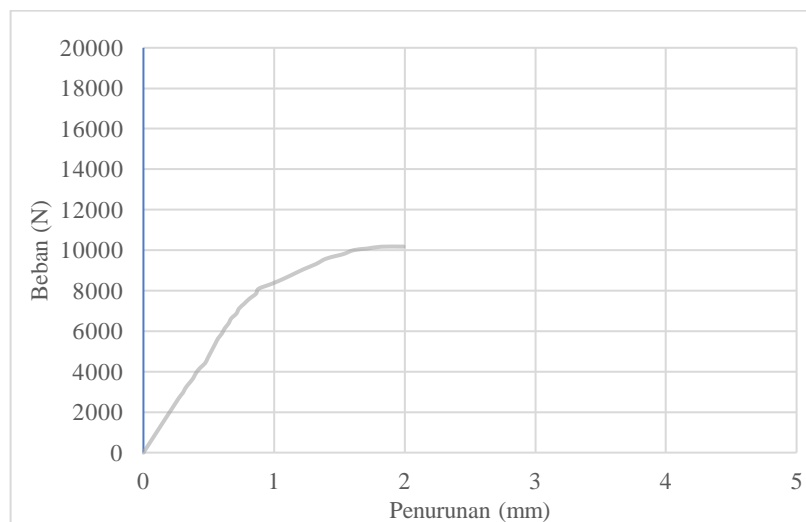
Pengujian kuat tumpu yang dilakukan menghasilkan data berupa penurunan (mm) dan beban (kg). Penurunan/*displacement* yang terjadi pada bambu laminasi diakibatkan oleh beban yang diberikan pada baut penekan. Pengujian kuat tumpu yang dilakukan pada bambu laminasi menggunakan 3 macam sampel benda uji, variasi terdapat pada diameter baut yang dipakai, yaitu 8 mm, 10 mm, dan 12 mm. Grafik hasil pengujian kuat tumpu bambu laminasi dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tumpu Bambu Laminasi

1. Perhitungan nilai kuat tumpu bambu laminasi (Fe) dengan penumpu baut menggunakan metode beban maksimum (P_{maks})

Nilai P_{maks} diperoleh dari beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji pada saat pengujian. Gambar 5.5 berikut ini menunjukkan grafik hasil pengujian kuat tumpu pada benda uji KT-8mm-3, sedangkan untuk grafik benda uji lainnya dapat dilihat pada Lampiran 14.



Gambar 5.5 Penentuan Nilai P_{maks} Benda Uji KT-8mm-3

Berikut ini adalah perhitungan nilai kuat tumpu bambu laminasi (Fe) pada sampel KT-8mm-3, dengan metode beban maksimum P_{maks} menggunakan persamaan (3.1).

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter terukur } (D) &= 6,88 \text{ mm} \\
 \text{Tebal sampel bambu } (t) &= 50 \text{ mm} \\
 \text{Beban maksimum } (P_{maks}) &= 10177.875 \text{ N} \\
 \text{Kuat tumpu sampel KT-8mm-3 } (Fe) &= \frac{P_{maks}}{D \cdot t} \\
 &= \frac{10177.875}{6,88 \cdot 50} \\
 &= 29.59 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

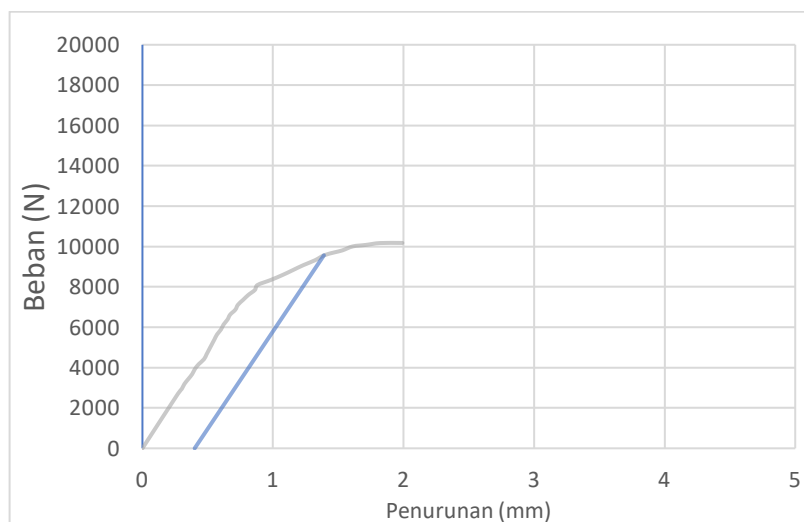
Menggunakan persamaan yang sama, hasil perhitungan kuat tumpu bambu laminasi dengan metode beban P_{maks} dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Hasil Perhitungan Kuat Tumpu dengan Beban Maksimum

Benda Uji	D baut	D terukur	t	P_{maks}	Fe_{maks}	Rerata
	mm	mm	mm	N	MPa	
KT-8mm-1	8	6.87	50	12090.82	35.20	33.50
KT-8mm-2	8	6.88	50	10398.6	30.23	
KT-8mm-3	8	6.88	50	10177.87	29.59	
KT-8mm-4	8	6.86	50	11256.97	32.82	
KT-8mm-5	8	6.85	50	13586.85	39.67	
KT-10mm-1	10	9.06	50	11992.72	26.47	25.22
KT-10mm-2	10	9.06	50	12164.4	26.85	
KT-10mm-3	10	9.05	50	14052.82	31.06	
KT-10mm-4	10	9.08	50	8927.1	19.66	
KT-10mm-5	10	9.07	50	10006.2	22.06	
KT-12mm-1	12	11.17	50	10006.2	17.92	17.18
KT-12mm-2	12	11.2	50	8853.52	15.81	
KT-12mm-3	12	11.2	50	9172.35	16.38	
KT-12mm-4	12	11.17	50	10055.25	18.00	
KT-12mm-5	12	11.19	50	9957.15	17.80	

2. Perhitungan nilai kuat tumpu bambu laminasi (Fe) dengan penumpu baut menggunakan metode beban offset 5% diameter ($P_{5\%}$)

Nilai beban offset 5% diameter baut diperoleh dari perpotongan grafik hasil uji kuat tumpu dengan garis offset 5% diameter polos. Cara penentuan $P_{5\%}$ untuk benda uji KT-8mm-3 ditunjukkan pada Gambar 5.6, sedangkan penentuan $P_{5\%}$ untuk benda uji lainnya dapat dilihat pada Lampiran 14.

**Gambar 5.6 Penentuan Nilai $P_{5\%}$ Benda Uji KT-8mm-3**

Berikut ini adalah perhitungan nilai kuat tumpu bambu laminasi (F_e) pada sampel KT-8mm-3, dengan metode beban offset 5% diameter menggunakan persamaan (3.2).

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter terukur } (D) &= 6,88 \text{ mm} \\
 \text{Tebal sampel bambu } (t) &= 50 \text{ mm} \\
 \text{Beban offset 5\% } (P_{5\%}) &= 9564.75 \text{ N} \\
 \text{Kuat tumpu sampel KT-8mm-3 } (F_e) &= \frac{P_{5\%}}{D \cdot t} \\
 &= \frac{9564.75}{6,88 \cdot 50} \\
 &= 27.80 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

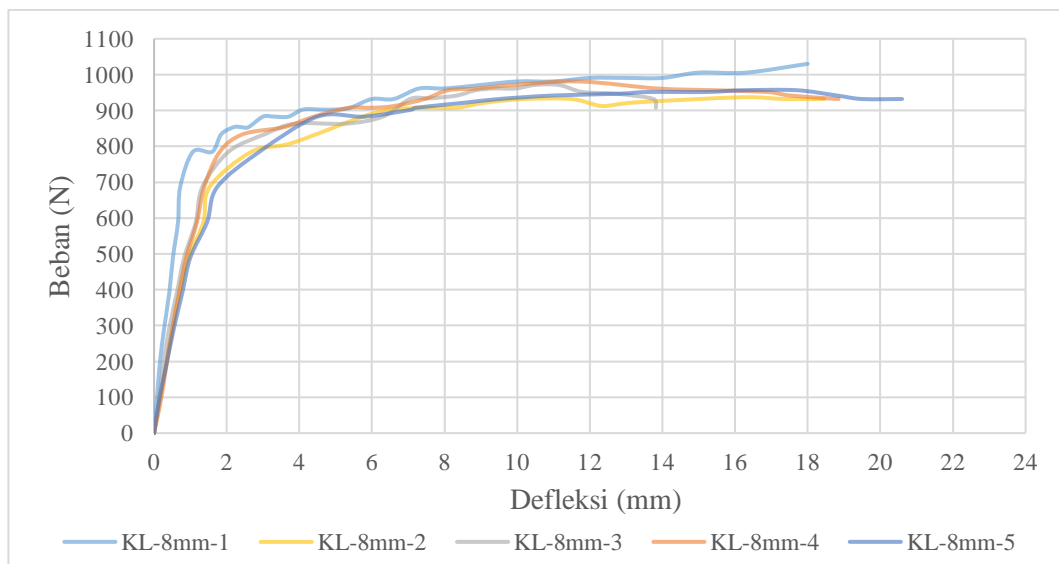
Menggunakan persamaan yang sama, hasil perhitungan kuat tumpu bambu laminasi dengan metode beban $P_{5\%}$ dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Kuat Tumpu dengan Beban $P_{5\%}$

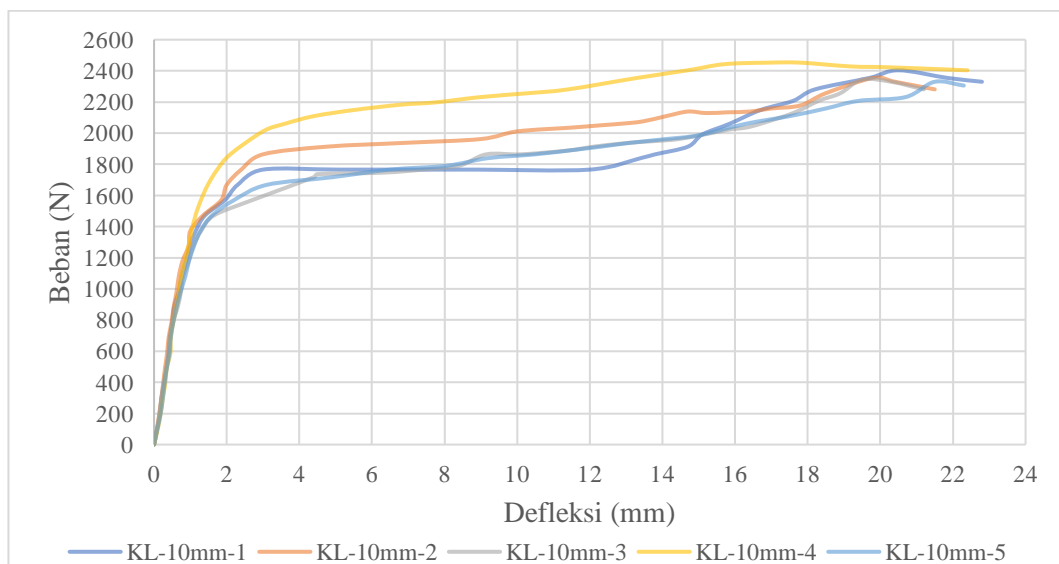
Benda Uji	D baut	D terukur	t	$P_{5\%}$	F_e 5%	Rerata
	mm	mm	mm	N	MPa	MPa
KT-8mm-1	8	6.87	50	12066.3	35.13	32.31
KT-8mm-2	8	6.88	50	10290.69	29.91	
KT-8mm-3	8	6.88	50	9564.75	27.80	
KT-8mm-4	8	6.86	50	10300.5	30.03	
KT-8mm-5	8	6.85	50	13243.5	38.67	
KT-10mm-1	10	9.06	50	11889.72	26.25	25.00
KT-10mm-2	10	9.06	50	12164.4	26.85	
KT-10mm-3	10	9.05	50	13734	30.35	
KT-10mm-4	10	9.08	50	8878.05	19.56	
KT-10mm-5	10	9.07	50	9981.7	22.01	
KT-12mm-1	12	11.17	50	10006.2	17.92	16.49
KT-12mm-2	12	11.2	50	7848	14.01	
KT-12mm-3	12	11.2	50	8951.625	15.99	
KT-12mm-4	12	11.17	50	9976.77	17.86	
KT-12mm-5	12	11.19	50	9319.5	16.66	

1.1.3 Kuat Lentur Baut

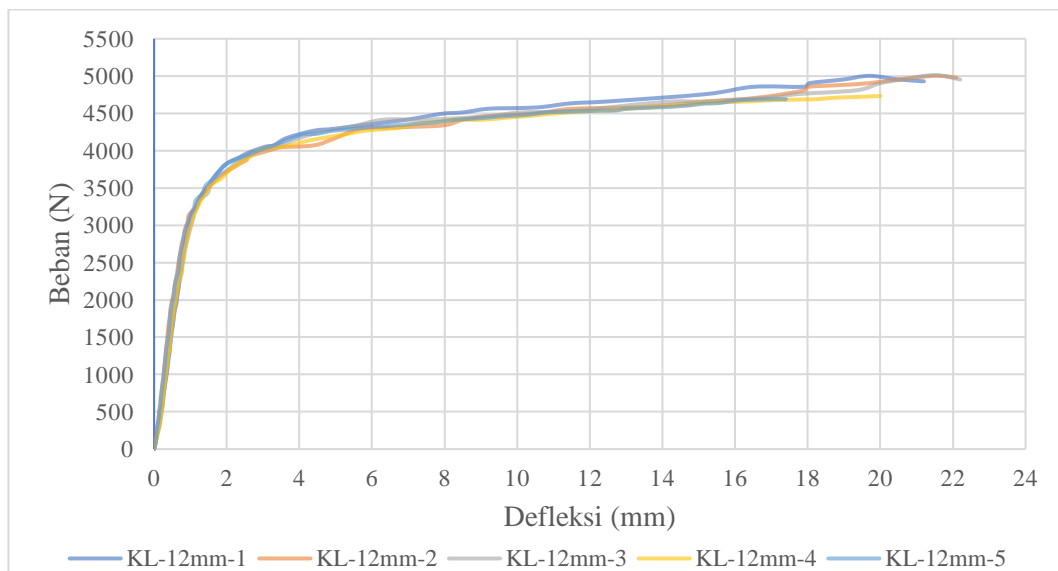
Pengujian kuat lentur baut bertujuan untuk mengetahui nilai kuat lentur baut (F_{yb}) pada masing-masing diameter baut. Pengujian kuat lentur baut dilakukan pada 3 jenis variasi diameter (D) yaitu 8 mm, 10 mm, dan 12 mm. Jarak tumpuan (S_{bp}) dalam pengujian ditentukan sebesar 100 mm untuk diameter 8 mm, 110 mm untuk diameter 10 mm, dan 130 mm untuk diameter 12 mm. Grafik hasil pengujian kuat lentur baut dapat dilihat pada Gambar 5.7 sampai Gambar 5.9.



Gambar 5.7 Grafik Hasil Pengujian Kuat Lentur Baut 8 mm



Gambar 5.8 Grafik Hasil Pengujian Kuat Lentur Baut 10 mm



Gambar 5.9 Grafik Hasil Pengujian Kuat Lentur Baut 12 mm

Berdasarkan Gambar 5.7 s/d Gambar 5.9 dengan menggunakan teori beban offset 5% diameter baut, diperoleh $P_{5\%}$ rata-rata untuk diameter 8 mm, 10 mm, dan 12 mm berturut-turut sebesar 752,50 N, 1576,30 N, 3745,20 N. Grafik penentuan nilai beban $P_{5\%}$ untuk setiap benda uji dapat dilihat pada lampiran 13. Berikut adalah perhitungan kuat lentur baut (F_{yb}) pada sampel KL-8mm-1 dengan menggunakan persamaan (3.3).

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter terukur } (D) &= 6,87 \text{ mm} \\
 \text{Beban offset 5\% } (P_{5\%}) &= 782,5 \text{ N} \\
 \text{Jarak tumpuan } (S_{bp}) &= 130 \text{ mm} \\
 \text{Kuat lentur } (F_{yb}) &= \frac{3 \cdot P \cdot S_{bp}}{2 \cdot D^3} \\
 &= \frac{3 \cdot 782,5 \cdot 130}{2 \cdot 6,87^3} \\
 &= 362,0 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan yang sama, hasil perhitungan kuat lentur baut dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Kuat Lentur Baut

Benda Uji	D baut	D sisi polos	Sbp	$P_{5\%}$	F_{yb}	F_{yb} rerata
	mm	mm	mm	N	MPa	MPa
KL-8mm-1	8	6.87	100	782.5	362.0	347.54
KL-8mm-2	8	6.85	100	720	336.01	
KL-8mm-3	8	6.88	100	750	345.45	
KL-8mm-4	8	6.87	100	790	365.47	
KL-8mm-5	8	6.9	100	720	328.76	
KL-10mm-1	10	9.05	110	1530.5	340.70	349.97
KL-10mm-2	10	9.06	110	1530	339.46	
KL-10mm-3	10	9.07	110	1495.5	330.71	
KL-10mm-4	10	9.06	110	1800	399.37	
KL-10mm-5	10	9.05	110	1525.5	339.59	
KL-12mm-1	12	11.19	130	3855.5	536.57	521.78
KL-12mm-2	12	11.18	130	3695	515.61	
KL-12mm-3	12	11.2	130	3695	512.86	
KL-12mm-4	12	11.17	130	3725.5	521.27	
KL-12mm-5	12	11.19	130	3755	522.58	

1.1.4 Kuat Sambungan Bambu Laminasi

Pengujian kuat sambungan bertujuan untuk mengetahui kapasitas sambungan bambu laminasi dengan alat sambung baut. Kapasitas sambungan merupakan nilai beban maksimal yang dapat ditahan oleh sambungan ketika pengujian. Pengujian kuat sambungan bambu laminasi menggunakan alat sambung baut dan dilakukan pada bambu laminasi dalam keadaan kondisi kering udara. Pengujian kuat sambungan bambu laminasi dilakukan dengan memberi beban tekan pada sambungan. Terdapat 3 variasi baut yang digunakan pada sambungan, yaitu diameter 8 mm, 10 mm, dan 12 mm.

1. Perhitungan nilai tahanan lateral prediksi

Tahanan lateral prediksi sambungan ditentukan berdasarkan nilai tahanan lateral terkecil pada perhitungan setiap jenis mode kegagalan persamaan NDS tanpa memperhitungkan angka aman. Rumus nilai tahanan lateral prediksi paling kecil yang dihitung dari semua jenis mode kegagalan berdasarkan persamaan NDS untuk sambungan kayu yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Berikut ini adalah perhitungan prediksi nilai tahanan lateral sambungan bambu laminasi (Z) pada sampel KS-8mm-1, berdasarkan persamaan NDS untuk sambungan kayu yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan besar nilai reduksi (R_d) pada Tabel 3.2.

Diameter baut terukur (D)	= 6,9 mm
Kuat lentur baut (F_{yb})	= 347,54 MPa
Panjang tumpu baut pada kayu utama (l_m)	= 50 mm
Panjang tumpu baut pada kayu samping (l_s)	= 50 mm
Kuat tumpu kayu utama (F_{em})	= 33,50 MPa
Kuat tumpu kayu samping (F_{es})	= 33,50 MPa
Perbandingan F_{em} dan F_{es} (R_e)	= $\frac{F_{em}}{F_{es}}$
	= 1
Perbandingan l_m dan l_s (R_t)	= $\frac{l_m}{l_s}$
	= 1

a) Perhitungan pada mode kegagalan I_m

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat reduksi } (R_d) &= 4 K\theta \\
 &= 4 \left(1 + 0,25 \left(\frac{\theta}{90} \right) \right) \\
 &= 4 \left(1 + 0,25 \left(\frac{0}{90} \right) \right) \\
 &= 4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai tahanan lateral } (Z) &= \frac{D l_m F_{em}}{R_d} \\
 &= \frac{6,9 \cdot 50 \cdot 33,50}{4} \\
 &= 2889,43 \text{ N}
 \end{aligned}$$

b) Perhitungan pada mode kegagalan I_s

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai tahanan lateral } (Z) &= \frac{D l_m F_{es}}{R_d} \\
 &= \frac{6,9 \cdot 50 \cdot 33,50}{4} \\
 &= 2889,43 \text{ N}
 \end{aligned}$$

c) Perhitungan pada mode kegagalan II

$$\begin{aligned} \text{Syarat reduksi } (R_d) &= 3,6 K\theta \\ &= 3,6 \left(1 + 0,25 \left(\frac{\theta}{90}\right)\right) \\ &= 3,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien } (k_1) &= \frac{\sqrt{R_e + 2R_e^2(1+R_t+R_t^2) + R_t^2 R_e^3 - R_e(1+R_t)}}{(1+R_e)} \\ &= \frac{\sqrt{1+2(1)^2(1+1+(1)^2) + (1)^2(1)^3 - 1(1+1)}}{(1+1)} \\ &= 0,4142 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai tahanan lateral } (Z) &= \frac{k_1 D l_s F_{es}}{R_d} \\ &= \frac{0,4142 \cdot 6,9 \cdot 50 \cdot 33,50}{3,6} \\ &= 1329,82 \text{ N} \end{aligned}$$

d) Perhitungan pada mode kegagalan III_m

$$\begin{aligned} \text{Syarat reduksi } (R_d) &= 3,2 K\theta \\ &= 3,2 \left(1 + 0,25 \left(\frac{\theta}{90}\right)\right) \\ &= 3,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien 2 } (k_2) &= -1 + \sqrt{2(1+R_e) + \frac{2F_{yb}(1+2R_e)D^2}{3F_{em} l_m^2}} \\ &= -1 + \sqrt{2(1+1) + \frac{2(347,54)(1+2(1))6,9^2}{3 \cdot 33,50 \cdot 50^2}} \\ &= 1,0957 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai tahanan lateral } (Z) &= \frac{k_2 D l_s F_{em}}{(1+2R_e)R_d} \\ &= \frac{1,0957 \cdot 6,9 \cdot 50 \cdot 33,50}{(1+2(1))3,2} \\ &= 1711,40 \text{ N} \end{aligned}$$

e) Perhitungan pada mode kegagalan III_s

$$\begin{aligned} \text{Koefisien } 3 (k_3) &= -1 + \sqrt{\frac{2(1+R_e)}{R_e} + \frac{2F_{yb}(2+R_e)D^2}{3F_{em} l_s^2}} \\ &= -1 + \sqrt{\frac{2(1+1)}{1} + \frac{2(347,54)(2+1)6,9^2}{3 \cdot 33,50 \cdot 50^2}} \\ &= 1,0957 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai tahanan lateral (Z)} &= \frac{k_3 D l_s F_{em}}{(2+R_e)R_d} \\ &= \frac{1,0957 \cdot 6,9 \cdot 50 \cdot 33,50}{(2+1) 3,2} \\ &= 1319,20 \text{ N} \end{aligned}$$

f) Perhitungan pada mode kegagalan IV

$$\begin{aligned} \text{Nilai tahanan lateral (Z)} &= \frac{D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3(1+R_e)}} \\ &= \frac{6,9^2}{3,2} \sqrt{\frac{2 \cdot 33,50 \cdot 347,54}{3(1+1)}} \\ &= 926,86 \text{ N} \end{aligned}$$

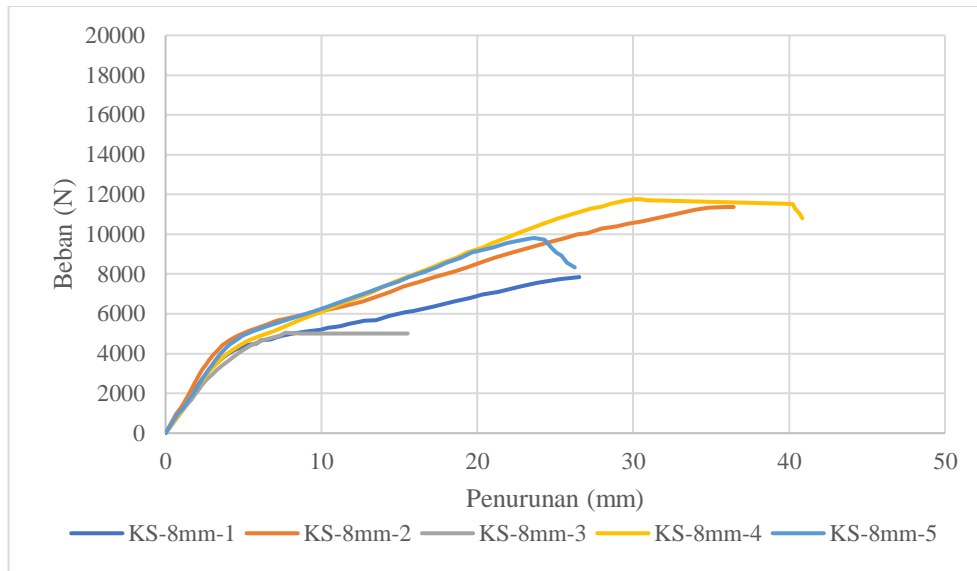
Dengan menggunakan rumus yang sama, hasil perhitungan tahanan lateral dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Nilai Tahanan Lateral Prediksi

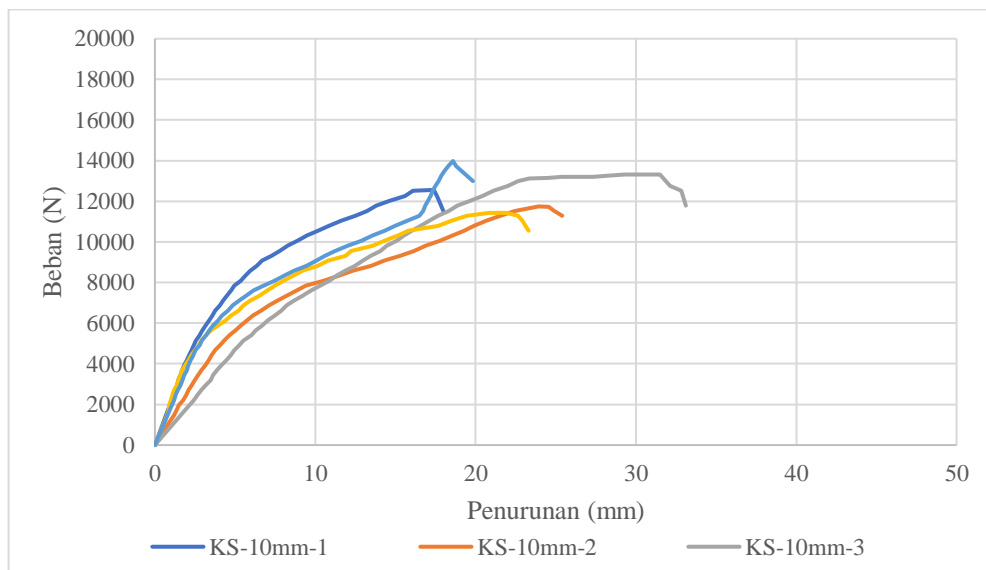
Benda Uji	<i>D</i> baut	<i>l_m</i>	<i>l_s</i>	<i>F_{em}</i>	<i>F_{es}</i>	<i>F_{yb}</i>	Tahanan Lateral Prediksi (N)						Mode Kegagalan	Tahanan Lateral (N)
	mm	mm	mm	MPa	MPa	MPa	Im	Is	II	III _m	III _s	IV		
KS-8mm-1	6.9	50	50	33.50	33.50	347.54	2889.43	2889.43	1329.82	1711.40	1319.20	926.86	IV	926.86
KS-8mm-2	6.87	50	50	33.50	33.50	347.54	2876.86	2876.86	1324.04	1703.95	1313.46	918.82	IV	918.82
KS-8mm-3	6.87	50	50	33.50	33.50	347.54	2876.86	2876.86	1324.04	1703.95	1313.46	918.82	IV	918.82
KS-8mm-4	6.87	50	50	33.50	33.50	347.54	2876.86	2876.86	1324.04	1703.95	1313.46	918.82	IV	918.82
KS-8mm-5	6.86	50	50	33.50	33.50	347.54	2872.68	2872.68	1322.11	1701.47	1311.55	916.15	IV	916.15
KS-10mm-1	9.06	50	50	25.22	25.22	349.97	2856.40	2856.40	1451.02	1877.82	1447.49	1391.39	IV	1391.39
KS-10mm-2	9.05	50	50	25.22	25.22	349.97	2853.25	2853.25	1451.02	1875.75	1445.89	1388.32	IV	1388.32
KS-10mm-3	9.07	50	50	25.22	25.22	349.97	2859.56	2859.56	1451.02	1879.89	1449.08	1394.46	IV	1394.46
KS-10mm-4	9.07	50	50	25.22	25.22	349.97	2859.56	2859.56	1451.02	1879.89	1449.08	1394.46	IV	1394.46
KS-10mm-5	9.06	50	50	25.22	25.22	349.97	2856.40	2856.40	1451.02	1877.82	1447.49	1391.39	IV	1391.39
KS-12mm-1	11.18	50	50	17.18	17.18	521.78	2401.07	2401.07	1105.06	2146.04	1654.24	2135.22	II	1105.06
KS-12mm-2	11.2	50	50	17.18	17.18	521.78	2405.36	2405.36	1107.04	2149.88	1657.20	2142.86	II	1107.04
KS-12mm-3	11.19	50	50	17.18	17.18	521.78	2403.22	2403.22	1106.05	2147.96	1655.72	2139.04	II	1106.05
KS-12mm-4	11.18	50	50	17.18	17.18	521.78	2401.07	2401.07	1105.06	2146.04	1654.24	2135.22	II	1105.06
KS-12mm-5	11.19	50	50	17.18	17.18	521.78	2403.22	2403.22	1106.05	2147.96	1655.72	2139.04	II	1106.05

2. Nilai tahanan lateral hasil pengujian

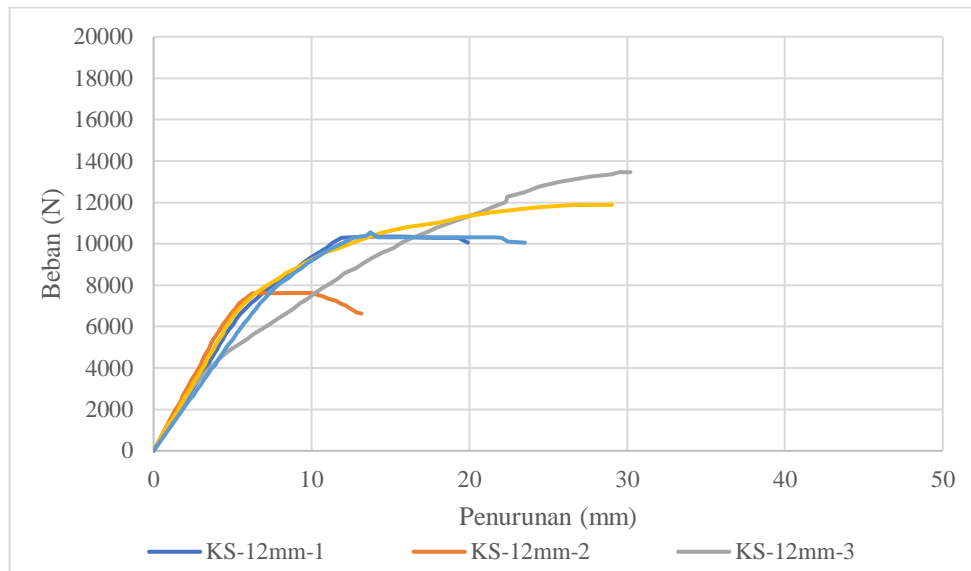
Hasil dari pengujian kuat sambungan bambu laminasi dengan variasi diameter baut 8 mm, 10 mm, dan 12 mm dapat dilihat pada grafik yang ditunjukkan Gambar 5.10 sampai Gambar 5.12.



Gambar 5.10 Grafik Hasil Pengujian Kuat Sambungan Bambu Laminasi dengan Alat Sambung Baut 8 mm

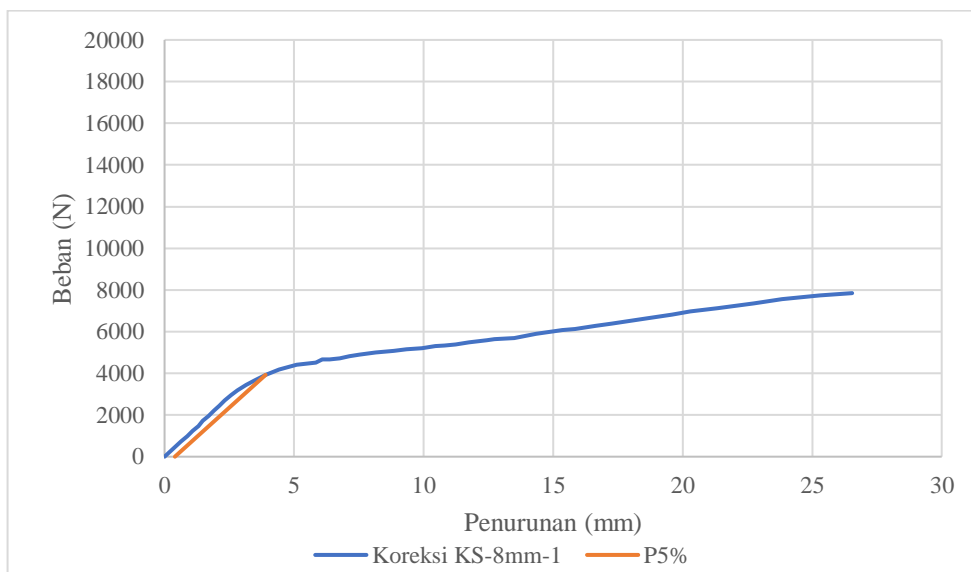


Gambar 5.11 Grafik Hasil Pengujian Kuat Sambungan Bambu Laminasi dengan Alat Sambung Baut 10 mm



Gambar 5.12 Grafik Hasil Pengujian Kuat Sambungan Bambu Laminasi dengan Alat Sambung Baut 12 mm

Nilai tahanan lateral pengujian adalah nilai beban pada titik leleh perpotongan antara garis sejajar 5% offset diameter baut dengan grafik hasil pengujian kuat sambungan berdasarkan teori EYM. Cara penentuan Z untuk benda uji KS-8mm-1 ditunjukkan pada Gambar 5.13, sedangkan penentuan Z untuk benda uji lainnya dapat dilihat pada Lampiran 14.






Gambar 5.13 Penentuan Nilai Tahanan Lateral Hasil Pengujian KS-8mm-1

3. Mode kegagalan sambungan

Berdasar hasil pengujian kuat sambungan, bentuk mode kegagalan yang terjadi pada sambungan dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Kerusakan Pada Sambungan Bambu Laminasi Berdasar Diameter

Diameter (mm)	Bentuk kerusakan pada sambungan bambu laminasi	Mode kegagalan
8		IV
10		IV
12		II

Berdasarkan Tabel 5.5 mode kegagalan II terjadi pada sampel benda uji pengujian sambungan bambu laminasi dengan baut berdiameter 12 mm dan mode kegagalan IV terjadi pada sampel benda uji pengujian sambungan bambu laminasi dengan baut berdiameter 8 mm dan 10 mm. mode kegagalan II diakibatkan oleh kegagalan tumpu pada komponen kayu utama dan kayu samping yang digunakan dalam pengujian, sedangkan alat penyambung belum mengalami kegagalan namun hanya berotasi. Mode kegagalan IV diakibatkan oleh terbentuknya dua sendi plastis pada alat penyambung yang digunakan, dalam satu bidang geser.

1.2 Pembahasan

Pembahasan yang dilakukan adalah dengan membandingkan nilai hasil pengujian dan analisis berdasarkan perbedaan ukuran baut yang digunakan, selengkapnya dapat dilihat pada sub bab 5.2.1 sampai sub bab 5.2.5.

1.2.1 Perbandingan Nilai Penting Pengujian Kuat Tumpu

Perbandingan parameter pengujian kuat tumpu dibagi menjadi 3 (tiga), sebagai berikut.

1. Nilai penting pengujian kuat tumpu

Nilai penting pengujian kuat tumpu berdasarkan diameter baut yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.6. sedangkan rerata pada Tabel 5.7.

Tabel 5.6 Nilai-nilai Penting Grafik Pengujian Kuat Tumpu

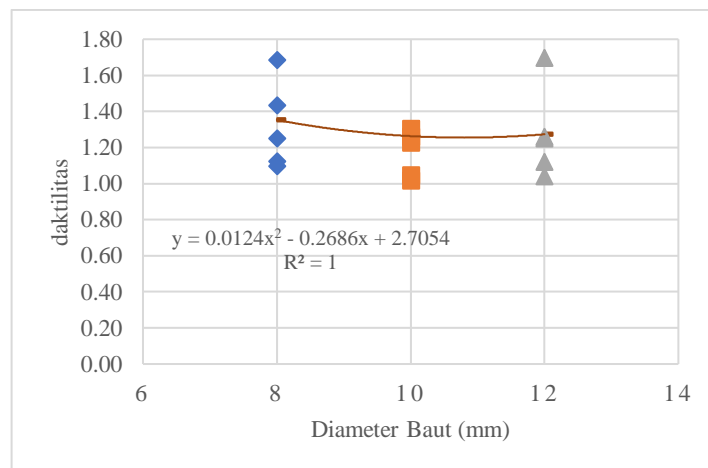
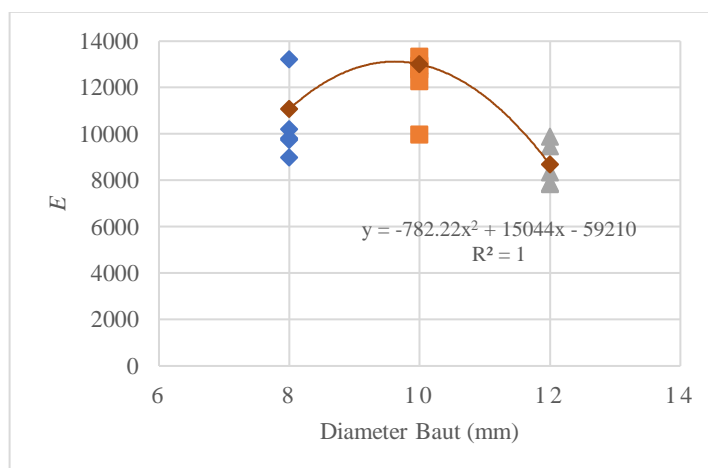
Rata-rata	F_e maks (MPa)	y_{maks}	y_y	M	E
KT-8mm-1	35.20	1.68	1.5	1.1223	10198
KT-8mm-2	30.23	1.70	1.55	1.0971	8969.5
KT-8mm-3	29.59	1.99	1.39	1.4326	9724.6
KT-8mm-4	32.82	2.41	1.43	1.6857	9813.5
KT-8mm-5	39.67	1.75	1.403	1.2497	13218
KT-10mm-1	26.47	1.60	1.3	1.22742	13312
KT-10mm-2	26.85	1.80	1.43	1.2595	12939
KT-10mm-3	31.06	2.01	1.54	1.3023	12760
KT-10mm-4	19.66	1.02	1	1.0163	12259
KT-10mm-5	22.06	1.46	1.4	1.0456	9957.8

Lanjutan Tabel 5.6 Nilai-nilai Penting Grafik Pengujian Kuat Tumpu

KT-12mm-1	17.92	1.55	1.38	1.1197	9462.3
KT-12mm-2	15.81	2.63	1.55	1.6967	8331.9
KT-12mm-3	16.38	2.18	1.731	1.2602	7835.8
KT-12mm-4	18.00	1.14	1.1	1.0396	9873.1
KT-12mm-5	17.80	2.16	1.728	1.2492	7862.3

Tabel 5.7 Rerata Nilai-nilai Penting Grafik Pengujian Kuat Tumpu

Rata-rata	F_e maks (MPa)	y_{maks}	y_y	μ	E
8mm	35.8959	1.9491	1.4443	1.3526	11076.5
10mm	28.1277	1.8008	1.4233	1.2631	13003.6667
12mm	17.1812	1.9317	1.4978	1.2731	8673.08

Gambar 5.14 Perbandingan Nilai μ Uji Kuat Tumpu Berdasar DiameterGambar 5.15 Perbandingan Nilai E Uji Kuat Tumpu Berdasar Diameter

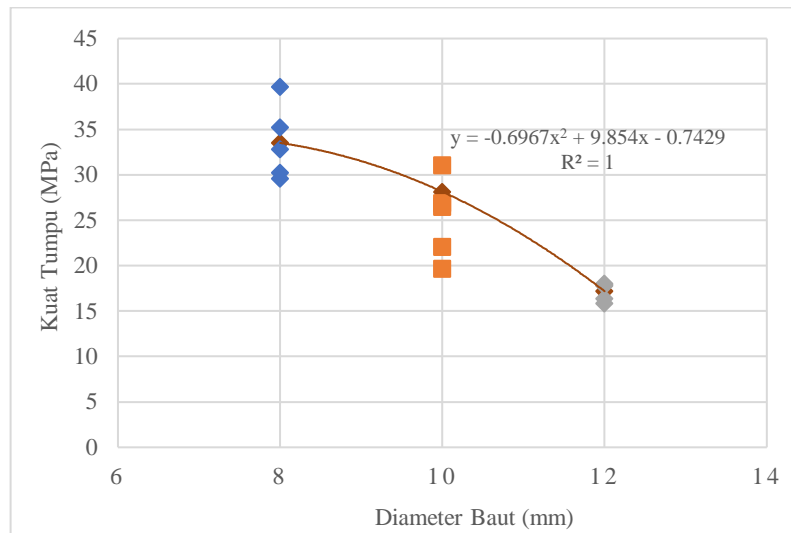
2. Perbandingan besar nilai kuat tumpu

Selisih nilai kuat tumpu berdasarkan diameter baut yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Selisih Nilai Kuat Tumpu Berdasar Diameter Baut

Benda Uji	D baut (mm)	Metode beban offset 5%		Metode beban maksimum		Rerata $F_{e_{maks}}$ (MPa)
		penurunan (mm)	F_e (MPa)	penurunan (mm)	F_e (MPa)	
KT-8mm-1	8	1.55	35.13	1.53	35.20	35.8959
KT-8mm-2	8	1.55	29.91	1.70	30.23	
KT-8mm-3	8	1.39	27.80	1.99	29.59	
KT-8mm-4	8	1.43	30.03	2.41	32.82	
KT-8mm-5	8	1.403	38.67	1.61	39.67	
KT-10mm-1	10	1.3756	26.25	0.96	26.47	28.1276
KT-10mm-2	10	1.43	26.85	1.21	26.85	
KT-10mm-3	10	1.54	30.35	1.90	31.06	
KT-10mm-4	10	1.146	19.56	1.02	19.66	
KT-10mm-5	10	1.4	22.01	1.42	22.06	
KT-12mm-1	12	1.465	17.92	1.39	17.92	17.9056
KT-12mm-2	12	1.55	14.01	2.26	15.81	
KT-12mm-3	12	1.731	15.99	2.18	16.38	
KT-12mm-4	12	1.39	17.86	1.14	18.00	
KT-12mm-5	12	1.728	16.66	1.98	17.80	

Hasil dari perhitungan baik dengan metode beban offset 5% diameter ($P_{5\%}$) dan metode beban maksimum (P_{maks}), didapat nilai rerata kuat tumpu bambu laminasi (F_e) menurun seiring dengan bertambahnya diameter baut penekan. Nilai tertinggi untuk uji kuat tumpu bambu laminasi terdapat pada sampel dengan baut penekan 8 mm.



Gambar 5.16 Selisih Nilai Kuat Tumpu Berdasar Diameter Baut Penumpu

Berdasar Gambar 5.14 sampai Gambar 5.16 dapat dicari besar diameter baut optimum pada pengujian kuat tumpu yang dilakukan, penurunan rumus dan perhitungannya dapat dilihat pada contoh perhitungan untuk mencari diameter baut optimum uji kuat tumpu berikut ini.

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

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

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

$$2ax = -b$$

$$x = \frac{-b}{2a}$$

$$y = -0,6967x^2 + 9,854x - 0,7429$$

$$\emptyset_{opt} \rightarrow 0 = 1,3934x + 9,854$$

$$1,3934x = 9,854$$

$$x = \frac{9,854}{1,3943}$$

$$= 7,0673 \text{ mm}$$

Dengan cara yang sama, dapat dihitung nilai diameter optimum untuk E dan μ , hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5.9 Rekap Nilai Optimum/Minimum Pengujian Kuat Tumpu

Parameter	a	b	c	\emptyset_{opt} (mm)	\emptyset_{min} (mm)
Fe	-0,6967	9,854	-0,7429	7,0673	-
E	-782,22	15044	-59210	9,6162	-
μ	0,0124	-0,2686	+2,7054	-	10,8306

3. Analisis variansi terhadap nilai kuat tumpu bambu laminasi

Hasil perbandingan nilai kuat tumpu bambu laminasi (Fe) menggunakan *Anova* dapat dilihat pada Tabel 5.10 untuk metode beban maksimum (P_{maks}) dan Tabel 5.11 untuk metode beban offset 5% diameter ($P_{5\%}$).

Tabel 5.10 Hasil *Anova* Nilai Kuat Tumpu Untuk Metode Beban P_{maks}

Variasi	F hitung	F kritik	Keterangan
Diameter baut	26.51362	3.885294	Beda Nyata

Tabel 5.11 Hasil *Anova* Nilai Kuat Tumpu Untuk Metode Beban $P_{5\%}$

Variasi	F hitung	F kritik	Keterangan
Diameter baut	23.20576	3.885294	Beda Nyata

Analisis variansi dilakukan menggunakan *Ms.Excel* 2016 untuk kuat tumpu dengan metode beban P_{maks} dan $P_{5\%}$, diperoleh hasil beda nyata dikarenakan F hitung $\geq F$ kritik. Hasil beda nyata menandakan bahwa besar diameter dari baut penekan sangat berpengaruh pada nilai kuat tumpu bambu laminasi.

1.2.2 Perbandingan Nilai Penting Pengujian Kuat Lentur Baut

Perbandingan parameter uji kuat lentur dibagi menjadi 2 berikut ini.

1. Nilai pokok pengujian kuat lentur

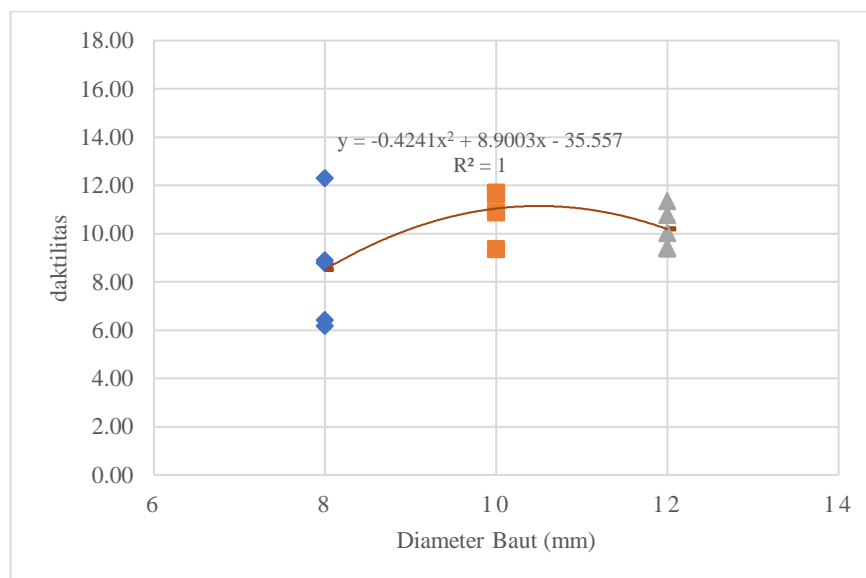
Nilai pokok pengujian kuat lentur berdasarkan diameter baut uji yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.12. sedangkan rerata pada Tabel 5.13.

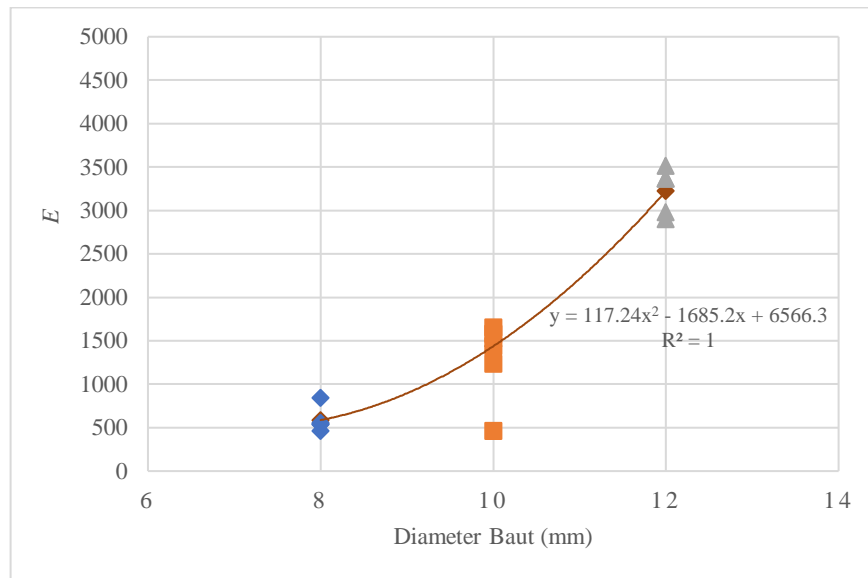
Tabel 5.12 Nilai-nilai Penting Grafik Pengujian Kuat Lentur

Sampel	f_{yb} (MPa)	y_{maks}	y_y	μ	E
KL-8mm-1	361.9974	18.0640	1.47	12.2884	842.53
KL-8mm-2	336.0099	16.2213	1.85	8.7683	537.45
KL-8mm-3	345.4516	11.2249	1.75	6.4143	554.29
KL-8mm-4	365.4670	11.7216	1.9	6.1692	543.66
KL-8mm-5	328.7581	17.7736	2	8.8868	460.13
KL-10mm-1	340.6995	20.4801	1.75	11.7029	1577.1
KL-10mm-2	339.4617	19.7879	1.7	11.6399	1653
KL-10mm-3	330.7109	19.5593	1.8	10.8663	1235.9
KL-10mm-4	399.3667	17.7807	1.9	9.3583	1438.2
KL-10mm-5	339.5865	21.5181	1.85	11.6314	1284.4
KL-12mm-1	536.5684	19.6638	2.1	9.3637	3365.5
KL-12mm-2	515.6127	21.5499	1.9	11.3421	3364.9
KL-12mm-3	512.8555	21.5340	2	10.7670	2901.2
KL-12mm-4	521.2663	20.0309	2	10.0154	2982.2
KL-12mm-5	522.5818	17.4269	1.85	9.4200	3514.9

Tabel 5.13 Rerata Nilai-nilai Penting Grafik Pengujian Kuat Lentur

Diameter	f_{yb} (MPa)	y_{maks}	y_y	μ	E
8 mm	347.5368	15.0011	1.794	8.5054	587.612
10 mm	349.9651	19.8252	1.8	11.0398	1437.72
12 mm	521.7769	20.0411	1.97	10.1816	3225.74

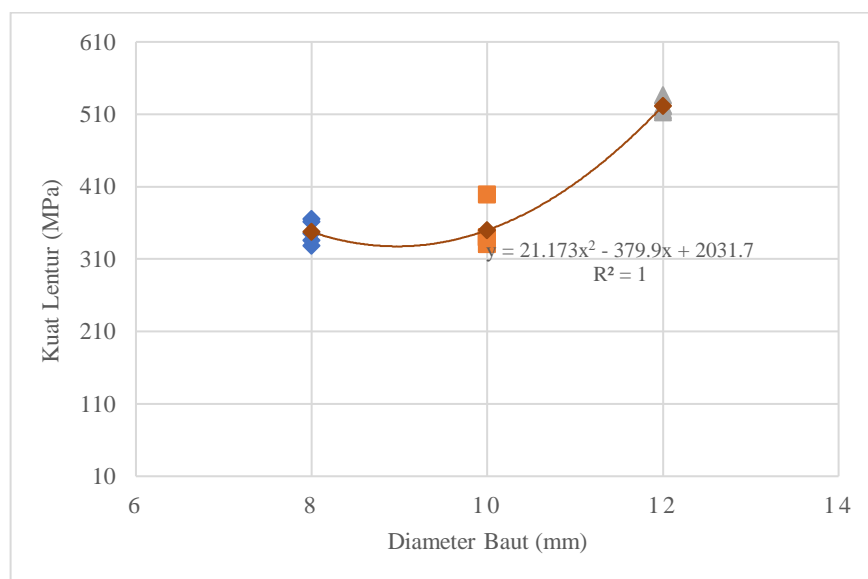
**Gambar 5.17 Selisih Nilai μ Pengujian Kuat Lentur Berdasar Diameter Baut**



Gambar 5.18 Selisih Nilai E Pengujian Kuat Lentur Berdasar Diameter Baut

2. Perbandingan besar nilai kuat lentur

Grafik selisih nilai kuat lentur berdasarkan diameter baut yang diuji dapat dilihat pada Gambar 5.19



Gambar 5.19 Selisih Nilai Kuat Lentur Berdasar Diameter Baut

Berdasar Gambar 5.17 sampai Gambar 5.19 hanya dapat dicari besar diameter baut minimum, dikarenakan keterbatasan alat dalam pengujian sehingga benda uji tidak dapat patah sempurna sehingga kemungkinan belum didapat

nilai maksimumnya. Perhitungannya sama seperti Persamaan 3.6, rekapitulasi perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Rekap Nilai Minimum Pengujian Kuat Lentur Baut

Parameter	a	b	c	\emptyset_{opt} (mm)	\emptyset_{min} (mm)
f_{yb}	21,173	-379,9	2031,7	-	8,9713
E	117,24	-1685,2	6566,3	-	7,1870
μ	-0,4241	8,9003	-35,557	10,4932	-

1.2.3 Perbandingan Nilai Penting Pengujian Kuat Sambungan

Perbandingan parameter pengujian kuat Sambungan antara lain perbandingan nilai daktilitas (μ), Elastisitas (E), dan nilai kapasitas sambungan (Z).

1. Nilai pokok pengujian kuat sambungan

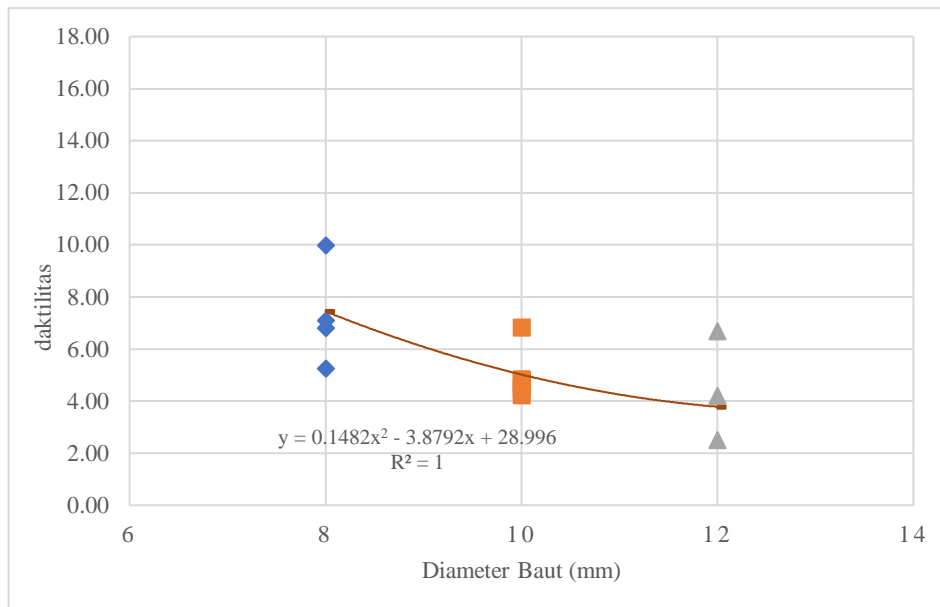
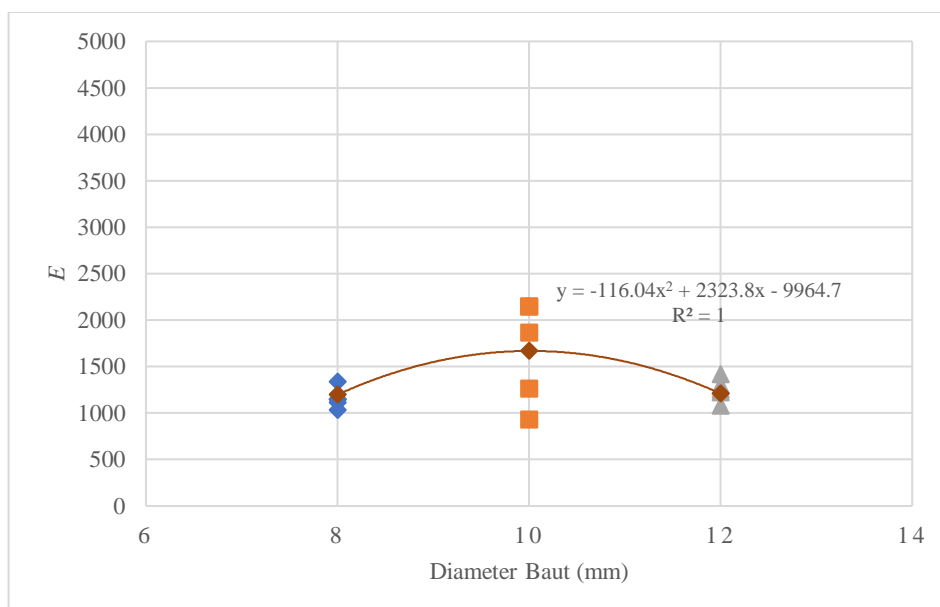
Nilai pokok pengujian kuat Sambung berdasarkan diameter baut yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.15. sedangkan rerata pada Tabel 5.16.

Tabel 5.15 Nilai-nilai Penting Grafik Pengujian Kuat Sambung

Sampel	Z_{maks} (N)	y_{maks}	y_y	μ	E
KS-8mm-1	7848	26.5420	3.9	6.8056	1147.2
KS-8mm-2	11369.79	36.4455	3.65	9.9851	1336.7
KS-8mm-3	5052.15	7.6802	4.53	1.6954	1033.3
KS-8mm-4	11762.19	30.5023	4.3	7.0936	1114.1
KS-8mm-5	9810	23.6520	4.5	5.2560	1144.6
KS-10mm-1	12556.8	17.3886	3.5886	4.8455	2144.4
KS-10mm-2	11747.475	23.9527	5.353	4.4746	1261.1
KS-10mm-3	13317.075	31.5147	7.4647	4.2218	928.87
KS-10mm-4	11428.65	21.9027	3.203	6.8382	2145.7
KS-10mm-5	13979.25	18.5858	3.936	4.7220	1861.8
KS-12mm-1	10349.55	15.4105	6.15	2.5058	1222.2
KS-12mm-2	7627.275	9.9682	6.2682	1.5903	1417.3
KS-12mm-3	13459.32	30.2104	4.51	6.6985	1246.5
KS-12mm-4	11879.91	29.0478	6.898	4.2110	1295
KS-12mm-5	10550.655	13.7293	8.0292	1.7099	1076

Tabel 5.16 Rerata Nilai-nilai Penting Grafik Pengujian Kuat Sambung

Sampel	Z_{maks} (N)	y_{maks}	y_y	μ	E
8 mm	10980.66	30.1999	4.15	7.4449	1198.46667
10 mm	12605.85	22.6689	4.70906	5.0204	1668.374
12 mm	11559.8588	22.0995	6.3968	3.7813	1209.925

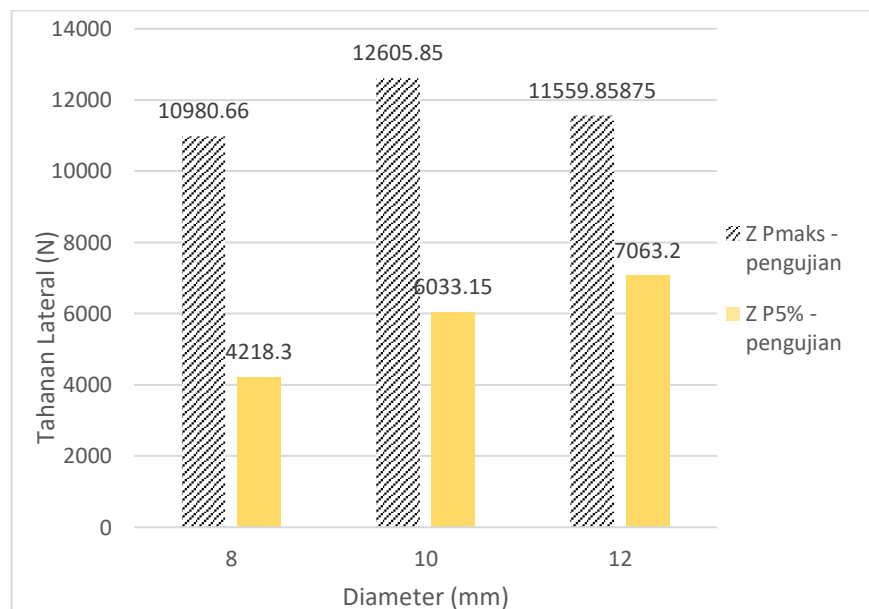
**Gambar 5.20 Selisih Nilai μ Uji Kuat Sambung Berdasar Diameter Baut****Gambar 5.21 Nilai E Pengujian Kuat Sambung Berdasar Diameter Baut**

Berdasar Gambar 5.20 dan Gambar 5.21, dengan rumus yang sama seperti Persamaan 3.6, rekapitulasi perhitungan untuk nilai E dan μ pengujian kuat sambungan bambu laminasi dengan variasi diameter baut dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Rekap Perhitungan Nilai Optimum Pengujian Kuat Sambung

Parameter	a	b	c	\varnothing_{opt} (mm)	\varnothing_{min} (mm)
E	-116,04	2323.8	-9964,7	10,0129	-
μ	0,1482	-3,8792	28,996	-	13,0877

- Perbandingan nilai kapasitas sambungan berdasarkan diameter baut
 Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kapasitas sambungan bambu laminasi berbeda pada setiap variasi diameter baut yang digunakan.



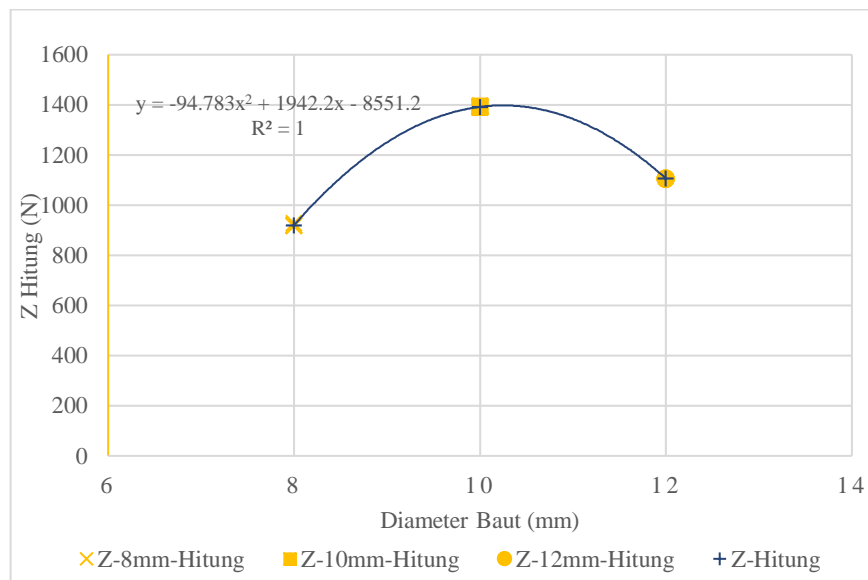
Gambar 5.22 Perbandingan Nilai Tahanan Lateral Berdasar Ukuran Baut

Berdasarkan Gambar 5.22 diketahui nilai kapasitas sambungan paling tinggi terdapat pada baut ukuran 10 mm. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kapasitas sambungan bambu laminasi tidak selalu bertambah besar seiring dengan bertambahnya diameter baut. Nilai kapasitas sambungan bambu laminasi

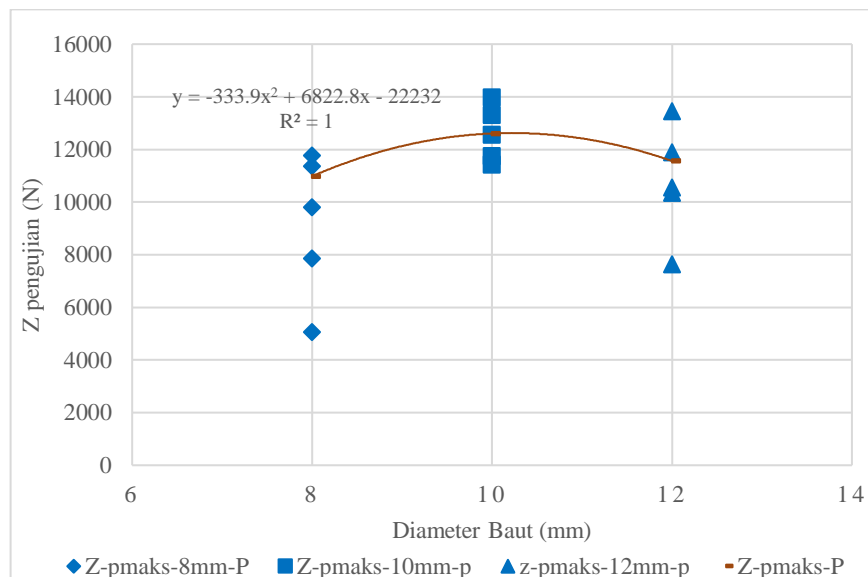
tertinggi terdapat pada sambungan dengan baut diameter 10 mm dan terendah terdapat pada sambungan dengan baut diameter 8 mm.

3. Perbandingan tahanan lateral prediksi dan hasil pengujian

Hasil perbandingan tahanan lateral prediksi terhadap tahanan lateral pengujian untuk seluruh variasi diameter baut dapat dilihat pada Gambar 5.23 sampai Gambar 5.25.



Gambar 5.23 Perbandingan Nilai Tahanan Lateral Hasil Hitungan

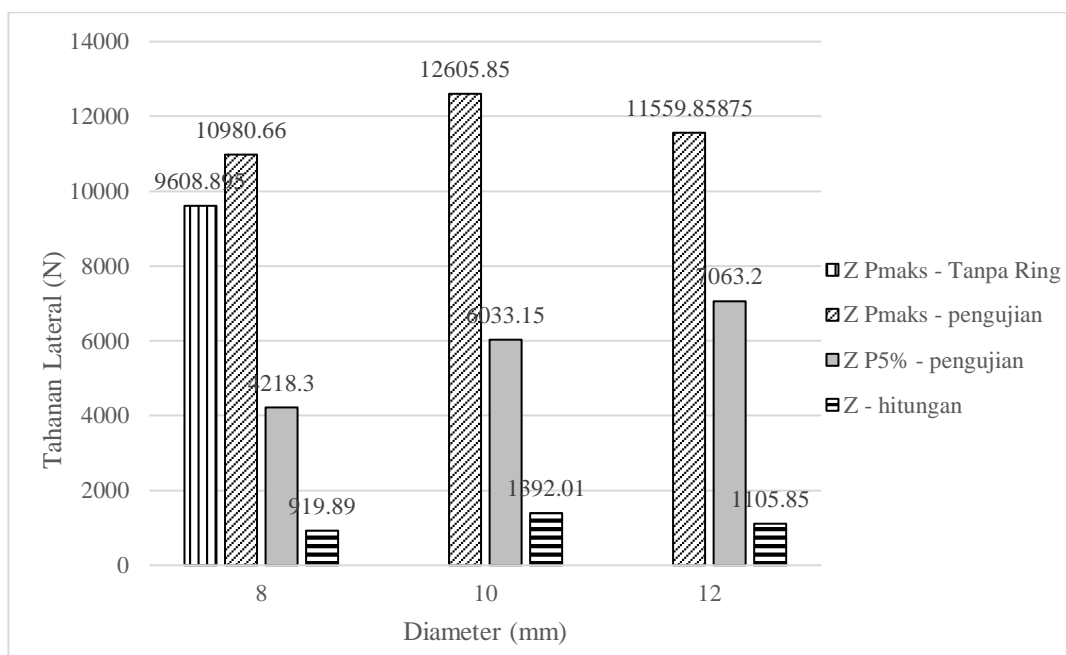


Gambar 5.24 Perbandingan Nilai Tahanan Lateral Hasil Pengujian

Berdasar Gambar 5.23 dan Gambar 5.24, dengan rumus yang sama seperti Persamaan 3.6, rekapitulasi perhitungan untuk mencari diameter baut optimum pada pengujian kuat tumpu dapat dilihat pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Rekap Perhitungan Diameter Optimum Pengujian Kuat Sambung

Parameter	a	b	c	\varnothing_{opt} (mm)
$Z_{hitungan}$	-94,783	1942,2	-8551,2	10,2455
$Z_{pengujian}$	-333.9	6822,8	-22232	10,2168



Gambar 5.25 Perbandingan Nilai Tahanan Lateral Hasil Pengujian dan Hasil Hitungan

Berdasarkan Gambar 5.23 sampai Gambar 5.25 diketahui bahwa nilai tahanan lateral pengujian selalu lebih besar daripada tahanan lateral prediksi. Kemungkinan hal ini disebabkan karena adanya pengencangan baut pada sambungan dengan menggunakan mur yang menimbulkan tahanan terhadap gaya geser yang sangat besar pada sambungan bambu laminasi, sedangkan pemberian cincin *ring* pada sambungan memberikan kontribusi yang tidak terlalu signifikan pada kenaikan beban yang dapat ditahan.

1.2.4 Perbandingan Benda Uji Kuat Sambung dengan *Ring* dan Tanpa *Ring*

Benda uji yang ada dalam uji kuat sambungan bambu laminasi terdiri dari 2 (dua) tipe yaitu untuk benda uji KS-8mm 1 dan 2 tidak memakai *ring* besi, dan untuk benda uji lainnya menggunakan *ring* pada sambungannya.

1. Sambungan laminasi tanpa *ring*

Tidak adanya *ring* pada benda uji mengakibatkan semakin masuknya kepala baut kedalam balok bambu laminasi seiring dengan bertambahnya beban yang diterima, hal itu mengakibatkan menurunnya kualitas dari sampel sambungan bambu laminasi yang diuji, sedangkan untuk mode kegagalan yang terjadi masih sesuai prediksi yang mengacu pada *EYM* dan *NDS*. Gambar dari benda uji kuat sambungan tanpa *ring* dapat dilihat pada Gambar 26 dan Gambar 27.



Gambar 5.26 Kerusakan Pada Sambungan Bambu Tanpa *Ring*



Gambar 5.27 Mode Kegagalan IV Pada Sambungan Bambu Tanpa *Ring*

2. Sambungan bambu laminasi dengan *ring*

Ring yang digunakan pada benda uji berpengaruh pada bentuk kerusakan benda uji dan juga kualitas dari sambungan yang diuji itu sendiri, sedangkan untuk mode kegagalan yang terjadi masih sesuai dengan prediksi yang dilakukan menggunakan teori *EYM* dan *NDS*. *Ring* yang digunakan selain dapat menambah kekuatan, juga membuat kepala baut tidak terlalu masuk kedalam balok bambu, kemudian besar penurunan yang terjadi pada sambungan menjadi tidak sebesar benda uji tanpa *ring*. Gambar benda uji kuat sambungan dengan *ring* dapat dilihat pada Gambar 26 dan Gambar 27.



Gambar 5.28 Kerusakan Pada Sambungan Bambu Dengan *Ring*



Gambar 5.29 Mode Kegagalan IV pada Sambungan Bambu Dengan *Ring*