

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dan dilaksanakan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP, Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan hasil pengujian benda uji. Seluruh tahap pekerjaan dan penelitian ini telah selesai dilaksanakan. Hasil pengujian dianalisis untuk mendapatkan nilai-nilai yang menjadi tujuan penelitian dan data yang diperoleh tersebut disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, sehingga dapat diambil kesimpulan dari penelitian yang telah dilaksanakan.

5.2 Hasil Penelitian Agregat Dan Mortar

5.2.1 Hasil Pengujian Kadar Lumpur dalam Agregat Halus

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kadar lumpur pada agregat halus. Kadar lumpur dalam agregat mempengaruhi kualitas dari agregat yang digunakan. Berdasarkan Peraturan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI-1982), pasir yang baik adalah pasir yang memiliki kandungan lumpur kurang dari 5%. Ketentuan pengujian tersaji pada Tabel 5.1 serta hasil dari pengujian seperti pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.1 Ketentuan Berat Minimum Benda Uji Berdasarkan Ukuran Maksimum Agregat

Ukuran Butir Maksimum (mm)	Berat Minimum (gram)	Keterangan
4,80	500	Pasir
9,60	1000	Krikil
19,20	1500	Krikil
38,00	2000	Krikil

Sumber: SNI 03-4142-1996

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Kadar Lumpur

No	Uraian	Berat Isi
1	Berat agregat kering oven, gram (W_1)	500
2	Berat agregat kering oven setelah dicuci, gram (W_2)	480
3	Kadar lumpur (%)	4

Berikut ini adalah perhitungan kandungan lumpur pasir Merapi.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar lumpur} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 480}{500} \times 100\% \\
 &= 4\%
 \end{aligned}$$

5.2.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar

Pengujian kuat tekan mortar dilakukan dengan melakukan uji tekan kubus mortar. Digunakan tiga variasi komposisi campuran antara semen dan abu batu yaitu 1:1, 1:2, dan 1:3 dengan masing variasi sebanyak tiga sampel benda uji dengan umur 14 hari. Dari hasil pengujian diperoleh nilai kuat tekan mortar seperti pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar

No	Perbandingan Campuran	Dimensi (mm)		Luas Tampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)	Rerata (MPa)
1	1 : 1	50	50,8	2540	66855,15	26,321	23,680
		50,3	51	2565,3	58614,75	22,849	
		50,3	51,5	2590,45	56652,75	21,870	
2	1 : 2	47	52	2444	74801,25	30,606	29,420
		49	52	2548	77008,5	30,223	
		49	52	2548	69896,25	27,432	
3	1 : 3	49,4	52	2519,4	62293,5	24,726	22,663
		49	51,4	2518,6	57879	22,981	
		48,4	51,8	2507,12	58369,5	23,281	

5.3 Hasil Pengujian Unit Batako-Kait

Pengujian unit batako-kait dilakukan dengan beberapa pengujian yaitu uji tekan material, uji geser-lentur, uji geser murni, dan uji geser vertikal.

5.3.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Material Batako-kait

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari dengan menguji sebanyak 3 sampel benda uji yaitu benda uji T1, T2, dan T3. Berikut ini adalah salah satu contoh perhitungan kuat lentur unit batako-kait pada benda uji T1 menurut persamaan (3.2) berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kuat tekan} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{2750}{\frac{1}{4} \times \pi \times 50,8^2} \\ &= 135,749 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian diperoleh nilai kuat tekan untuk seluruh benda uji seperti pada Tabel 5.4 berikut.

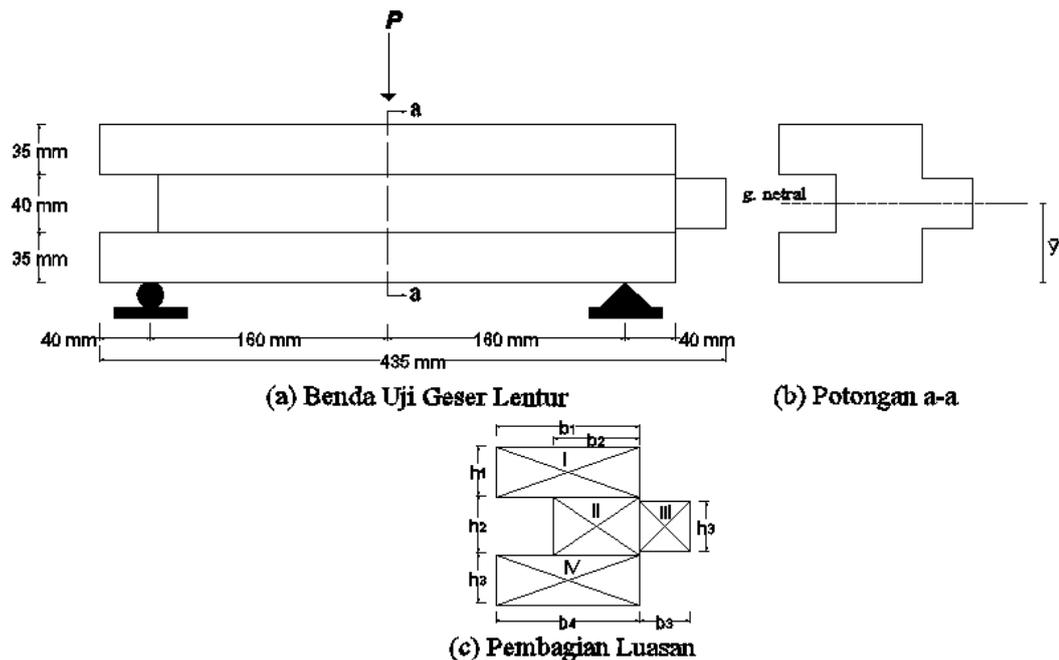
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Material Batako-Kait

Benda Uji	Diameter (cm)	Luas tampang (cm ²)	Beban Maksimal (kgf)	Kuat Tekan		Kuat Tekan Rerata	
				kgf/cm ²	MPa	kgf/cm ²	MPa
T1	5,08	20,258	2750	135,749	13,317	135,288	13,272
T2	5,06	20,099	2780	138,317	13,569		
T3	5,08	20,258	2670	131,800	12930		

Dari pengujian kuat tekan material batako-kait dengan komposisi campuran 1PC:8PS didapat hasil tertinggi yaitu 13,569 MPa atau sebesar 138,317 kgf/cm² serta didapatkan rerata sebesar 13,272 MPa atau sebesar 135,288 kgf/cm².

5.3.2 Hasil Pengujian Geser Lentur Tegak Lurus Bidang

Pengujian geser lentur tegak lurus bidang unit batako-kait dilakukan dengan menguji sebanyak 3 sampel benda uji yaitu GLT 1, GLT 2, dan GLT 3 pada umur 28 hari. Untuk menghitung nilai tegangan lentur sesuai dengan Persamaan 3.4, maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan inersia dan letak garis netral pada potongan tampang seperti tampak pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Benda Uji Geser Lentur Tegak Lurus Bidang

Dalam menghitung inersia dan letak garis netral maka potongan seperti pada Gambar 5.1 (b) akan dibagi menjadi beberapa area seperti pada Gambar 5.1 (c). Berikut ini adalah salah satu contoh perhitungan benda uji L1.

Lebar (b) : $b_1 = 102,3 \text{ mm}$; $b_2 = 61,2 \text{ mm}$; $b_3 = 35,8 \text{ mm}$; $b_4 = 102,5 \text{ mm}$.

Tinggi (h) : $h_1 = 35,6 \text{ mm}$; $h_2 = 41,3 \text{ mm}$; $h_3 = 35,4 \text{ mm}$; $h_4 = 35,7 \text{ mm}$.

Dengan data diatas dapat dihitung letak garis netral, inersia dan tegangan lentur sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{\sum A_i \cdot y_i}{\sum A_i} \\ &= \frac{(102,3 \times 35,6 \times 94,8) + (61,2 \times 41,3 \times 56,4) + (35,8 \times 35,4 \times 56,4) + (102,5 \times 35,7 \times 17,9)}{(102,3 \times 35,6) + (61,2 \times 41,3) + (35,8 \times 35,4) + (102,5 \times 35,7)} \\ &= 56,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I &= \sum (I_{x_i} + A_i \cdot \delta y^2) \\ &= \left(\frac{1}{12} \times 102,3 \times 35,6^3 + 3641,9 \times (94,8 - 56,3)^2\right) + \left(\frac{1}{12} \times 61,2 \times 41,3^3 + 2527,6 \times (56,4 - 56,3)^2\right) \\ &\quad + \left(\frac{1}{12} \times 35,8 \times 35,4^3 + 1267,32 \times (56,4 - 56,3)^2\right) + \left(\frac{1}{12} \times 102,5 \times 35,7^3 + 3659,3 \times (17,9 - 56,3)^2\right) \\ &= 5790291,96 \text{ mm}^4 + 359284,35 \text{ mm}^4 + 132353,68 \text{ mm}^4 + 5790979,17 \text{ mm}^4 \\ &= 12072909,16 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Berdasarkan data di atas, maka dapat dihitung tegangan lentur dan tegangan geser sebagai berikut.

a. Perhitungan tegangan lentur

Contoh perhitungan tegangan lentur untuk benda uji GLT 1 menggunakan Persamaan 3.4.

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{4} P \cdot L \\ &= \frac{1}{4} \times 94465,65 \times 320 \\ &= 757332 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M \cdot \bar{y}}{I} \\ &= \frac{757332 \times 56,3}{12072909,16} \\ &= 3,53 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan momen inersia, garis netral dan pengujian kuat lentur unit batako-kait untuk seluruh benda uji seperti pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 .

Berdasarkan data hasil pengujian didapatkan kuat lentur dari masing-masing benda uji yang tidak jauh berbeda selisihnya. Untuk hasil pengujian terbesar yaitu pada benda uji L1 yaitu 3,53 MPa serta didapatkan kuat lentur rerata unit batako-kait sebesar 2,96 MPa.

Tabel 5.5 Perhitungan Momen Inersia

Benda Uji	<i>i</i>	<i>b</i> (mm)	<i>d</i> (mm)	<i>A_i</i> (mm ²)	<i>y_i</i> (mm)	<i>A_i.y_i</i> (mm ³)	\bar{y} (mm)	δy^2 (mm ²)	$I_{x_i} + A_i \cdot \delta y^2$ (mm ⁴)	<i>I</i> (mm ⁴)
GLT 1	1	102,3	35,6	3641,9	94,8	345250,2	56,3	1484,3	5790291,9	12072909,2
	2	61,2	41,3	2527,6	56,4	142428		0,01	359284,4	
	3	35,8	35,4	1267,3	56,4	71413,5		0,01	132353,7	
	4	102,5	35,7	3659,3	17,9	65317,6		1476,4	5790979,2	
	Σ			11096		624409,3				
GLT 2	1	100,4	35,2	3534,1	94,2	332910,3	55,9	1468,9	5556153,2	11608489,6
	2	61,6	41,3	2544,1	56,0	142341,3		0,0	361632,5	
	3	35,4	35,6	1260	56,0	70510,4		0,0	133509,4	
	4	100,6	35,3	3551,2	17,7	62678,3		1461,0	5557194,5	
	Σ			10889,6		608440,4				
GLT 3	1	103,1	35,4	3649,7	93,9	342710,6	55,8	1450,04	5673404,5	11833972,8
	2	61,2	40,6	2484,7	55,9	138895,9		0,0063	341325073	
	3	35,8	35,8	1281,6	55,9	71643,7		0,0063	136891,5	
	4	102,9	35,6	3663,2	17,8	65205,7		1445,6	5682351,7	
	Σ			11079,3		618455,8				

Tabel 5.6 Hasil Perhitungan Uji Lentur

Benda Uji	Beban Maksimum (N)	L (mm)	Momen (Nm)	\bar{y} (mm)	Inersia (mm ⁴)	σ (MPa)	σ Rerata (MPa)
GLT 1	9466,65	320	757332	56,3	12072909,2	3.53	2.96
GLT 2	6033,15	320	482652	55,9	11608489,6	2.32	
GLT 3	8019,68	320	641574	55,8	11833972,8	3.03	

b. Perhitungan tegangan geser

Contoh perhitungan tegangan lentur untuk benda uji GLT 1 dengan meninjau pada beberapa titik seperti pada Gambar 3.6 (b) menggunakan Persamaan 3.5.

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{2} P \\
 &= \frac{1}{2} \times 9466,65 \text{ N} \\
 &= 4733,33 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau_1 &= \frac{V \times Q}{I \times b_1} \\
 &= \frac{4733,33 \times 0}{12072909,2 \times 102,3} \\
 &= 0 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau_{2 \text{ tepi atas}} &= \frac{V \times Q}{I \times b_2} \\
 &= \frac{4733,33 \times 140309,5}{12072909,2 \times 102,3} \\
 &= 0,538 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau_{2 \text{ tepi bawah}} &= \frac{V \times Q}{I \times b_2} \\
 &= \frac{4733,33 \times 140309,5}{12072909,2 \times 61,2} \\
 &= 0,899 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau_{3 \text{ tepi atas}} &= \frac{V \times Q}{I \times b_3} \\
 &= \frac{4733,33 \times 143307,8}{12072909,2 \times 61,2} \\
 &= 0,918 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau_{3 \text{ tepi bawah}} &= \frac{V \times Q}{I \times b_3} \\
 &= \frac{4733,33 \times 143307,8}{12072909,2 \times 97} \\
 &= 0,579 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau_4 &= \frac{V \times Q}{I \times b_4} \\
 &= \frac{4733,33 \times 159048,8}{12072909,2 \times 97}
 \end{aligned}$$

$$= 0,643 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \tau_5 &= \frac{V \times Q}{I \times b_5} \\ &= \frac{4733,33 \times 2859,9}{12072909,2 \times 61,2} \\ &= 0,919 \text{ MPa} \end{aligned}$$

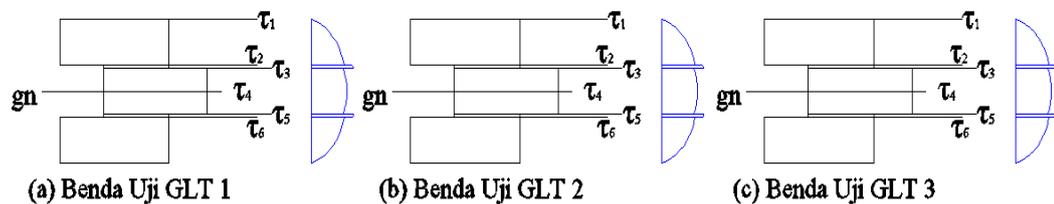
$$\begin{aligned} \tau_6 \text{ tepi atas} &= \frac{V \times Q}{I \times b_6} \\ &= \frac{4733,33 \times 140600,5}{12072909,2 \times 61,2} \\ &= 0,901 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_6 \text{ tepi bawah} &= \frac{V \times Q}{I \times b_6} \\ &= \frac{4733,33 \times 140600,5}{12072909,2 \times 102,5} \\ &= 0,538 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan tegangan geser untuk seluruh benda uji seperti pada Tabel 5.18. Berdasarkan hasil perhitungan tegangan geser pada masing-masing benda uji, maka diperoleh rerata tegangan geser seperti berikut.

$$\text{Rerata tegangan geser } (\tau) = \frac{0,919 + 0,584 + 0,784}{3} = 0,762 \text{ MPa}$$

Hasil dari perhitungan tegangan geser pada masing-masing benda uji menunjukkan bahwa tegangan geser maksimum terdapat pada titik tinjau τ_3 dan τ_5 . Hal tersebut terjadi karena dipengaruhi oleh statik momen dan lebar dari penampang pada titik yang ditinjau. Grafik tegangan geser dapat dilihat seperti pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik Tegangan Geser Benda Uji GLT

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Tegangan Geser Lentur Tegak Lurus Bidang

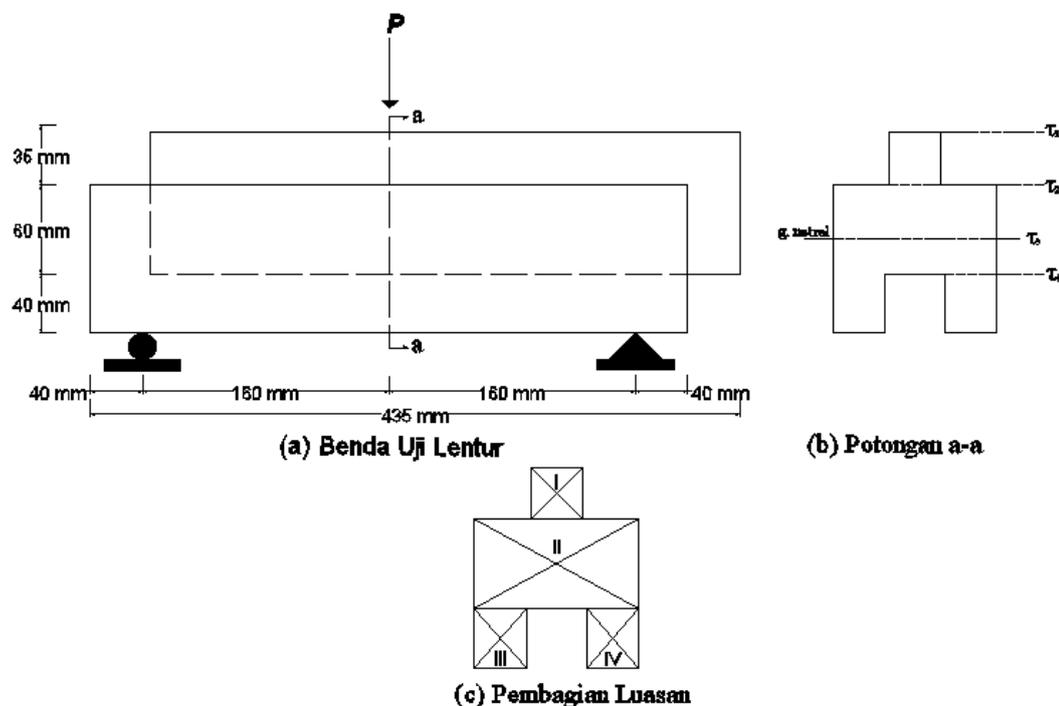
Benda Uji	P (N)	L (mm)	V (N)	I_{x_i} (mm ⁴)	Titik Tinjauan	A_i (mm)	$Q = A_i \times \bar{y}b$ (mm ³)	b (mm)	τ_i (MPa)		
GLT 1	9466,65	320	4733,33	12072909,2	1-1	0	0	102,3	0		
					2-2	3641,88	140309,54	102,3	0,538		
								61,2	0,899		
					3-3	185,23	2998,3	61,2	0,918		
								97	0,579		
					4-4	3641,88	140309,54	97	0,643		
										1268,47	13145,62
										633,66	5607,89
					5-5	175,85	2859,86	97	0,580		
								61,2	0,919		
					6-6	3659,25	140600,54	61,2	0,901		
								102,5	0,538		
GLT 2	6033,15	320	3016,58	11608489,7	1-1	0	0	100,4	0		
					2-2	3534,1	135448,5	100,4	0,351		
								61,6	0,571		
					3-3	180,3	2944,9	61,6	0,584		
								97	0,371		
					4-4	3534,08	135448,5	97	0,413		
										1276,7	13231,1
										630,1	560,1
					5-5	170,9	2804,3	97	0,371		
								61,6	0,584		
					6-6	3551,18	135738,9	61,6	0,573		
								100,6	0,351		

Lanjutan Tabel 5.7 Hasil Pengujian Tegangan Geser Lentur Tegak Lurus Bidang

Benda Uji	P (N)	L (mm)	V (N)	I_{x_i} (mm ⁴)	Titik Tinjauan	A_i (mm)	$Q = A_i \times \bar{y}b$ (mm ³)	b (mm)	τ_i (MPa)		
GLT 3	8019,68	320	4009,84	11833972,8	1-1	0	0	103,1	0		
					2-2	3649,7	138979,8	103,1	0,457		
								61,2	0,769		
					3-3	151,7	2528	61,2	0,783		
								97	0,494		
					4-4	3649,7	138979,8	97	0,550		
										1247,2	12708,7
										640,8	5735,3
					5-5	142	2377,4	97	0,495		
								61,2	0,784		
					6-6	3663,2	139278,7	61,2	0,771		
								102,9	0,459		

5.3.3 Hasil Pengujian Kuat Geser-lentur Searah Bidang

Pengujian geser lentur searah bidang dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari dengan jumlah sebanyak tiga buah yaitu GLS 1, GLS 2 dan GLS 3. Dari hasil pengujian tersebut, dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai dari tegangan dari lentur dan tegangan geser yang paling maksimum. Perhitungan dilakukan dengan cara membagi sebanyak empat daerah luasan pada penampang potongan searah pembebanan untuk menghitung momen inersia dan letak garis netral seperti pada Gambar 5.3 berikut.



Gambar 5.3 Benda Uji Geser Lentur Searah Bidang

Dalam menghitung inersia dan letak garis netral, maka potongan seperti pada Gambar 5.3 (b) akan dibagi menjadi beberapa area seperti pada Gambar 5.3 (c). Berikut adalah contoh perhitungan untuk benda uji GLT 1.

Lebar (b) : $b_1 = 35,6 \text{ mm}$; $b_2 = 111,5 \text{ mm}$; $b_3 = 35,2 \text{ mm}$; $b_4 = 35,5 \text{ mm}$.

Tinggi (h) : $h_1 = 35,4 \text{ mm}$; $h_2 = 61,5 \text{ mm}$; $h_3 = 41,2 \text{ mm}$; $h_4 = 41,2 \text{ mm}$.

Dengan data diatas dapat dihitung letak garis netral, inersia dan tegangan geser lentur pada masing-masing titik yang ditinjau sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\bar{y} &= \frac{\sum A_i \cdot y_i}{\sum A_i} \\ &= \frac{(35,6 \times 35,4 \times 120,5) + (111,5 \times 61,6 \times 72) + (35,2 \times 41,2 \times 20,6) + (35,5 \times 41,2 \times 20,6)}{(35,6 \times 35,4) + (111,5 \times 61,6) + (35,2 \times 41,2) + (35,2 \times 41,2)} \\ &= 63,98 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I &= \sum (I_{x_i} + A_i \cdot \delta y^2) \\ &= \left(\frac{1}{12} \times 35,6 \times 35,4^3 + 1260,2 \times (120,5 - 63,98)^2\right) + \left(\frac{1}{12} \times 111,5 \times 61,6^3 + 6868,4 \times (72 - 63,9)^2\right) \\ &\quad + \left(\frac{1}{12} \times 35,2 \times 41,2^3 + 1450,2 \times (20,6 - 63,98)^2\right) + \left(\frac{1}{12} \times 35,2 \times 41,2^3 + 1450,2 \times (20,6 - 63,98)^2\right) \\ &= 4158045,86 \text{ mm}^4 + 2614113,66 \text{ mm}^4 + 2933717,94 \text{ mm}^4 + 2958721,21 \text{ mm}^4 \\ &= 12664598,67 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

Berdasarkan data di atas, maka dapat dihitung tegangan lentur dan tegangan geser sebagai berikut.

a. Perhitungan tegangan lentur

Contoh perhitungan tegangan lentur untuk benda uji GLT 1 menggunakan Persamaan 3.4.

$$\begin{aligned}M &= \frac{1}{4} P \cdot L \\ &= \frac{1}{4} \times 55917 \times 320 \\ &= 4473360 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{M \cdot \bar{y}}{I} \\ &= \frac{757332 \times 63,98}{12664598,7} \\ &= 22,6 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan momen inersia, garis netral dan pengujian kuat lentur unit batako-kait untuk seluruh benda uji seperti pada Tabel 5.8 dan Tabel 5.9 .

Berdasarkan data hasil pengujian didapatkan kuat lentur dari masing-masing benda uji yang tidak jauh berbeda selisihnya. Untuk hasil pengujian terbesar yaitu pada benda uji GLS 1 yaitu 22,6 MPa serta didapatkan kuat lentur rerata unit batako-kait sebesar 16,68 MPa.

Tabel 5.8 Perhitungan Momen Inersia

Benda Uji	<i>i</i>	<i>b</i> (mm)	<i>d</i> (mm)	<i>A_i</i> (mm ²)	<i>y_i</i> (mm)	<i>A_i.y_i</i> (mm ³)	\bar{y} (mm)	δy^2 (mm ²)	$I_{x_i} + A_i \cdot \delta y^2$ (mm ⁴)	<i>I</i> (mm ⁴)
GLS 1	1	35.6	35.4	1260.2	120.5	151858.9	63.98	3194.9	4158045.9	12664598.7
	2	111.5	61.6	6868.4	72	494524.8		64.4	2614113.7	
	3	35.2	41.2	1450.2	20.6	29874.9		1881.5	2933717.9	
	4	35.5	41.2	1462.6	20.6	30129.6		1881.5	2958721.2	
	Σ			11041.5		706388.2				
GLS 2	1	35.7	35.2	1256.6	120	150796.8	63.69	3170.7	4114202	12501739.1
	2	110.9	61.7	6842.5	71.6	489583.1		61.8	2593363.9	
	3	35.4	40.7	1440.8	20.4	29319.9		1878.4	2905293.6	
	4	35.2	40.7	1432.6	20.4	29154.2		1878.4	2888879.5	
	Σ			10972.6		698853.9				
GLS 3	1	35.4	36.1	1277.9	120.9	154439.1	64.02	3229.6	4266060.1	12838147.1
	2	112.2	62.4	7001.3	71.6	501291.7		57.5	2674027.1	
	3	35.6	40.4	1438.2	20.2	29052.5		1920.2	2957337.1	
	4	35.4	40.4	1430.2	20.2	28889.2		1920.2	2940722.8	
	Σ			11147.62		713672.377				

Tabel 5.9 Hasil Perhitungan Uji Lentur

Benda Uji	Beban Maksimum (N)	L (mm)	Momen (Nm)	\bar{y} (mm)	Inersia (mm ⁴)	σ (MPa)	σ Rerata (MPa)
GLS 1	55917	320	4473360	63,98	12664598,7	22,6	16,680
GLS 2	25800,3	320	2064024	63,69	12501739,1	10,52	
GLS 3	42428,3	320	3394260	64,02	12838147,1	16,93	

b. Perhitungan tegangan geser

Contoh perhitungan tegangan lentur untuk benda uji GLT 1 dengan meninjau pada beberapa titik seperti pada Gambar 3.6 (a) menggunakan Persamaan 3.5.

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{1}{2} P \\
 &= \frac{1}{2} \times 55917 \text{ N} \\
 &= 27958,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau_1 &= \frac{V \times Q}{I \times b_1} \\
 &= \frac{27958,5 \times 0}{12664598,67 \times 35,6} \\
 &= 0 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau_2 \text{ tepi atas} &= \frac{V \times Q}{I \times b_2} \\
 &= \frac{27958,5 \times 71233,98}{12664598,67 \times 35,6} \\
 &= 4,42 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau_2 \text{ tepi bawah} &= \frac{V \times Q}{I \times b_2} \\
 &= \frac{27958,5 \times 71233,9}{12664598,67 \times 111,5} \\
 &= 1,41 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau_3 &= \frac{V \times Q}{I \times b_3} \\
 &= \frac{27958,5 \times (71233,9 + 84032,73)}{12664598,67 \times 111,5} \\
 &= 3,07 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau_4 \text{ tepi atas} &= \frac{V \times Q}{I \times b_4} \\
 &= \frac{27958,5 \times 84032,73}{12664598,67 \times 111,5} \\
 &= 2,50 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau_4 \text{ tepi bawah} &= \frac{V \times Q}{I \times b_4} \\
 &= \frac{27958,5 \times 84032,73}{12664598,67 \times 70,7} \\
 &= 3,95 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan momen inersia, garis netral dan pengujian kuat geser akibat lentur unit batako-kait untuk seluruh benda uji seperti pada Tabel 5.7 dan Tabel 5.8.

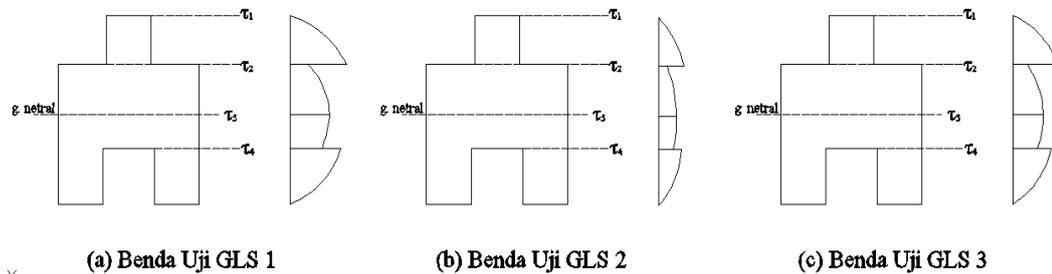
Berdasarkan hasil dari Tabel 5.10 maka diperoleh rerata tegangan geser lentur sebagai berikut.

Rerata tegangan geser lentur (τ):

$$= \frac{4,417+2,045+3,390}{3}$$

$$= 3,284 \text{ MPa}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tegangan geser lentur pada masing-masing benda uji, terlihat bahwa pada masing-masing titik yang ditinjau diperoleh nilai tegangan geser akibat lentur yang berbeda pada penampang potongan searah pembebanan. Hal tersebut dipengaruhi oleh statik momen serta lebar dari penampang pada titik yang ditinjau. Grafik tegangan geser akibat lentur dapat dilihat seperti pada Gambar 5.4 berikut.



Gambar 5.4 Grafik Tegangan Geser Benda Uji GLS

Tabel 5.10 Perhitungan Tegangan Geser

Benda Uji	P (N)	L (mm)	V (N)	I_{xi} (mm ⁴)	Titik Tinjauan	A_i (mm)	$Q = A_i \times \bar{y}b$ (mm ³)	b (mm)	τ_i (MPa)
GLS 1	55917	320	27958,5	12664598,7	1-1	0	0	35,6	0
					2-2	1260,2	71233,9	35,6	4,417
								111,5	1,410
					3-3	1260,2	71233,9	111,5	3,074
						4328,9	84032,7		
					4-4	2912,8	1263469	111,5	2,502
								70,7	3,945
					GLS 2	25800.3	320	12900,15	12501739,1
2-2	1256,6	70760,3	35,7	2,045					
			110,9	0,658					
3-3	1256,6	70760,3	110,9	1,413					
	4292,8	83086,1							
4-4	2873,4	124536,6	110,9	1,159					
			70,6	1,820					
GLS 3	42428.3	320	21214,13	12838147,1					
					2-2	1277,9	72625,1	35,4	3,390
								112,2	1,070
					3-3	1277,9	72625,1	112,2	2,312
						4351,1	84367,5		
					4-4	2868,4	125693,7	112,2	1,851
								71	2,925

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.4 diatas tegangan geser lentur maksimum pada masing-masing benda uji terdapat pada titik τ_2 pada tiap penampang potongan searah pembebanan.

5.3.4 Hasil Pengujian Kuat Geser Murni

Pengujian kuat geser murni dilakukan pada umur 28 hari dengan menguji geser murni horizontal yaitu benda uji GM 1, GM 2, dan GM 3 serta geser murni vertikal yaitu benda uji GV 1, GV 2, dan GV 3. Berikut ini adalah salah satu contoh perhitungan kuat geser murni unit batako-kait pada benda uji GM 1 dan benda uji GV 1.

d. Perhitungan geser murni horizontal pada benda uji GM 1:

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{172656}{2 \times (360,6 \times 60,8)} \\ &= 3,938 \text{ MPa}\end{aligned}$$

e. Perhitungan geser murni vertikal pada benda uji GV 1:

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{56211,3}{2 \times (61,2 \times 360,8)} \\ &= 1,273 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Berdasarkan contoh perhitungan geser murni seperti diatas, hasil pengujian kuat geser murni horizontal dan vertikal secara keseluruhan seperti tampak pada Tabel 5.11 dan 5.12 berikut.

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Geser Murni Horizontal

Benda Uji	Beban Maksimal (N)	Dimensi (mm)		τ_h (MPa)	τ_h Rerata (Mpa)
		<i>b</i>	<i>h</i>		
GM 1	172656	360,6	60,8	3,938	3,481
GM 2	148131	361,1	61,2	3,351	
GM 3	141754,5	360,6	62,3	3,155	

Tabel 5.12 Hasil Pengujian Geser Murni Vertikal

Benda Uji	Beban Maksimal (N)	Dimensi (mm)		τ_v (MPa)	τ_v Rerata (Mpa)
		<i>b</i>	<i>h</i>		
GV 1	56211,3	61,2	360,8	1,273	1,208
GV 2	46107	62,1	360,9	1,029	
GV 3	59252,4	61,9	362,3	1,321	

Berdasarkan data hasil pengujian didapatkan kuat geser murni horizontal terbesar pada benda uji GM 1 yaitu 3,938 MPa serta didapatkan rerata sebesar 12,527 MPa sedangkan untuk pengujian geser murni vertikal nilai terbesar terdapat pada benda uji GV 3 yaitu 1,321 MPa dan diperoleh rerata sebesar 1,208 MPa. Perbedaan yang cukup besar antara tegangan geser murni horizontal dan vertikal terjadi dikarenakan beban maksimum yang berbeda serta posisi pada saat pengujian.

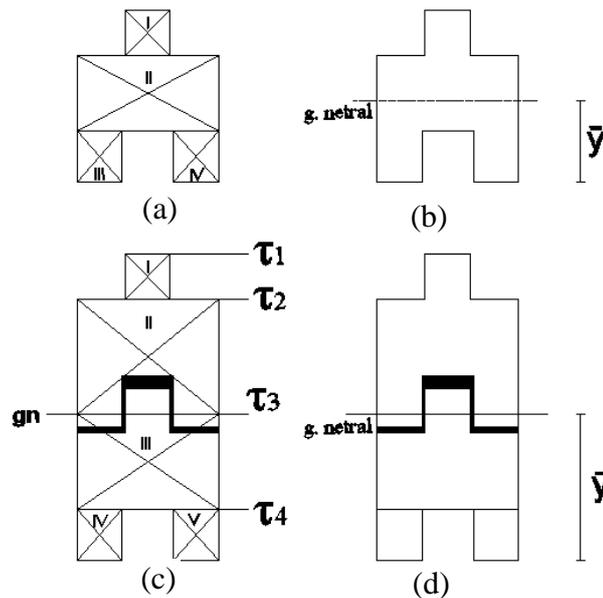
5.4 Hasil Pengujian Unit Dinding Pasangan Batako-Kait

5.4.1 Pengujian dengan Pembebanan Searah Bidang (*in plane*)

Pengujian *interlocking* pada dinding pasangan batako-kait diuji setelah berumur 28 hari dengan jumlah benda uji sebanyak 3 unit dinding pasangan pada masing-masing variasi jumlah susunan lapisan. Pengujian ini dilakukan dengan 2 tipe siar yaitu siar tegak segaris dan siar tegak tidak segaris. Perhitungan yang dilakukan adalah tegangan lentur dan tegangan geser. Untuk menghitung tegangan lentur dan tegangan geser pada unit dinding susunan batako-kait pada masing-masing tipe siar dan jumlah susunan, perlu dilakukan perhitungan inersia dan letak garis netral. Berikut adalah perhitungan tegangan lentur dan geser dari masing-masing pengujian.

1. *Interlocking* 2 lapisan dengan siar tegak segaris (I2SI)

Perhitungan letak garis netral dilakukan untuk penampang 1 batako-kait untuk menentukan nilai inersia masing-masing penampang potongan, sedangkan letak garis netral pada penampang 2 susunan batako-kait diperlukan untuk perhitungan tegangan lentur dan geser seperti pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5.5 Penampang Potongan Searah Pembebanan

Letak garis netral dan inersia untuk 1 unit batako:

Lebar (b) : $b_1= 35 \text{ mm}$; $b_2= 110 \text{ mm}$; $b_3= 35 \text{ mm}$; $b_4= 35 \text{ mm}$.

Tinggi (h) : $h_1= 35 \text{ mm}$; $h_2= 60 \text{ mm}$; $h_3= 35 \text{ mm}$; $h_4= 35 \text{ mm}$.

$$\begin{aligned} \bar{y}_1 &= \frac{\sum A_i \cdot y_i}{\sum A_i} \\ &= \frac{(35 \times 35 \times 117,5) + (110 \times 60 \times 70) + (35 \times 3 \times 40 \times 20) + (35 \times 40 \times 20)}{(35 \times 35) + (110 \times 60) + (35 \times 40) + (35 \times 40)} \\ &= 62,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I &= \sum (I_{x_i} + A_i \cdot \delta y^2) \\ &= \left(\frac{1}{12} \times 35 \times 35^3 + 1225 \times (117,5 - 62,3)^2\right) + \left(\frac{1}{12} \times 110 \times 60^3 + 660 \times (70 - 62,3)^2\right) \\ &\quad + \left(\frac{1}{12} \times 35 \times 40^3 + 1400 \times (520 - 62,3)^2\right) + \left(\frac{1}{12} \times 35 \times 40^3 + 1400 \times (20 - 62,3)^2\right) \\ &= 3732624,1 \text{ mm}^4 + 2371341 \text{ mm}^4 + 2691672,7 \text{ mm}^4 + 2691672,7 \text{ mm}^4 \\ &= 11612335,4 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Letak garis netral untuk 2 susunan batako-kait:

Lebar (b) : $b_1= 35 \text{ mm}$; $b_2= 110 \text{ mm}$; $b_3= 110 \text{ mm}$; $b_4= 60 \text{ mm}$; $b_5= 70 \text{ mm}$.

Tinggi (h) : $h_1= 35 \text{ mm}$; $h_2= 60 \text{ mm}$; $h_3= 45 \text{ mm}$; $h_4= 110 \text{ mm}$; $h_5= 40 \text{ mm}$.

$$\begin{aligned}\bar{y}_2 &= \frac{\sum A_i \cdot y_i}{\sum A_i} \\ &= \frac{(35 \times 35 \times 222,5) + (110 \times 60 \times 175) + (110 \times 45 \times 122,5) + (60 \times 110 \times 70) + (70 \times 40 \times 20)}{(35 \times 35) + (110 \times 60) + (35 \times 40) + (35 \times 40)} \\ &= 115,1 \text{ mm}\end{aligned}$$

Berdasarkan data di atas maka dapat dihitung tegangan lentur dan tegangan geser sebagai berikut.

c. Perhitungan tegangan lentur

Contoh perhitungan tegangan lentur untuk benda uji I2SI 1 dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.4.

$$\begin{aligned}M &= \frac{1}{4} P \cdot L \\ &= \frac{1}{4} \times 5631,3 \times 720 \\ &= 1013633,6 \text{ Nm} \\ \sigma &= \frac{M \times \bar{y}_2}{2I} \\ &= \frac{1013633,6 \times 115,1}{2 \times 11612335,4} \\ &= 3,023 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan momen inersia, garis netral dan pengujian kuat lentur unit batako-kait untuk seluruh benda uji seperti pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 Hasil Pengujian Tegangan Lentur I2SI

Benda Uji	P (N)	L (mm)	M (Nm)	\bar{y} (mm)	I (mm ⁴)	σ (MPa)	σ Rerata (MPa)
I2SI 1	5631,3	720	1013633,6	115,1	23224670,8	5,023	10,655
I2SI 2	21538,4	720	3844508,02	115,1	23224670,8	19,050	
I2SI 3	8850,1	720	1593008,6	115,1	23224670,8	7,894	

Dari hasil pengujian tegangan lentur diperoleh hasil rerata sebesar 10,655 MPa dan nilai tegangan lentur tertinggi pada benda uji I2SI 2 yaitu sebesar 19,050 MPa.

d. Perhitungan tegangan geser

Perhitungan tegangan geser pada unit susunan dinding batako-kait dilakukan seperti pada perhitungan geser lentur batako-kait pada subbab sebelumnya yaitu dengan meninjau di beberapa titik pada penampang potongan searah pembebanan seperti pada Gambar 5.5 (c). Contoh perhitungan tegangan geser untuk benda uji I2SI 1 dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.5.

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2} P \\ &= \frac{1}{2} \times 5631,3 \text{ N} \\ &= 2815,7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \frac{V \times Q}{2I \times b_1} \\ &= \frac{2815,7 \times 0}{2 \times 11612335,4 \times 35} \\ &= 0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{2 \text{ tepi atas}} &= \frac{V \times Q}{2I \times b_2} \\ &= \frac{2815,7 \times 131587,4}{2 \times 11612335,4 \times 35} \\ &= 0,456 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{2 \text{ tepi bawah}} &= \frac{V \times Q}{2I \times b_2} \\ &= \frac{2815,7 \times 131587,4}{2 \times 11612335,4 \times 110} \\ &= 0,145 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_3 &= \frac{V \times Q}{2I \times b_3} \\ &= \frac{2815,7 \times (131587,4 + 444691,2)}{2 \times 11612335,4 \times 110} \\ &= 3,07 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{4 \text{ tepi atas}} &= \frac{V \times Q}{2I \times b_4} \\ &= \frac{2815,7 \times 266228,9}{2 \times 11612335,4 \times 110} \\ &= 0,293 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{4 \text{ tepi bawah}} &= \frac{V \times Q}{2I \times b_4} \\ &= \frac{2815,7 \times 266228,9}{2 \times 11612335,4 \times 35} \\ &= 0,461 \text{ MPa} \end{aligned}$$

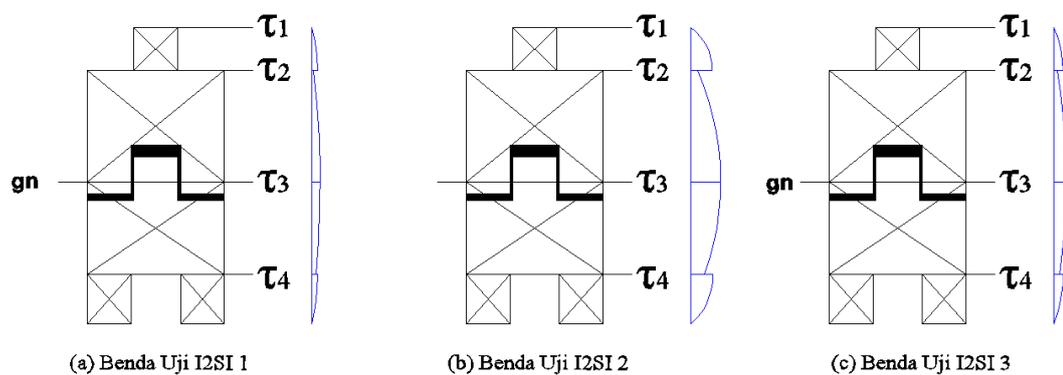
Hasil perhitungan tegangan geser untuk seluruh benda uji seperti pada Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Hasil Pengujian Tegangan Geser I2SI

Benda Uji	P (N)	L (mm)	V (N)	I_{x_i} (mm ⁴)	Titik Tinjauan	A_i (mm)	$Q = A_i \times \bar{y}b$ (mm ³)	b (mm)	τ_i (MPa)
I2SI 1	5631,3	720	2815,7	23224670,8	1-1	0	0	35	0
					2-2	1225	131587,4	35	0,456
								110	0,145
					3-3	1225	131587,4	110	0,635
						9891	444691,2		
					4-4	2800	266228,9	110	0,293
70	0,461								
I2SI 2	21358,4	720	10679,2	23224670,8	1-1	0	0	35	0
					2-2	1225	131587,4	35	1,729
								110	0,550
					3-3	1225	131587,4	110	2,409
						9891	444691,2		
					4-4	2800	266228,9	110	1,113
70	1,749								
I2SI 3	8850,1	720	4425	23224670,8	1-1	0	0	35	0
					2-2	1225	131587,4	35	0,716
								110	0,228
					3-3	1225	131587,4	110	0,998
						9891	444691,2		
					4-4	2800	266228,9	110	0,461
70	0,725								

$$\text{Rerata tegangan geser } (\tau) = \frac{0,635 + 2,409 + 0,998}{3} = 1,347 \text{ MPa}$$

Hasil perhitungan tegangan geser pada masing-masing benda uji seperti diatas, terlihat bahwa pada masing-masing titik yang ditinjau diperoleh nilai tegangan geser yang berbeda pada penampang potongan searah pembebanan. Hal tersebut dipengaruhi oleh statik momen serta lebar dari penampang pada titik yang ditinjau. Grafik tegangan geser dapat dilihat seperti pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.6 Grafik Tegangan Geser I2SI

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.6 di atas tegangan geser lentur maksimum pada masing-masing benda uji terdapat pada garis netral yaitu pada titik τ_3 tiap penampang potongan searah pembebanan. Tegangan geser geserr terbesar terdapat pada benda uji I2SI 2 sebesar 2,049 MPa dan diperoleh rerata sebesar 1,347 MPa.

1. *Interlocking* 2 lapisan dengan siar tegak tidak segaris (I2TI)

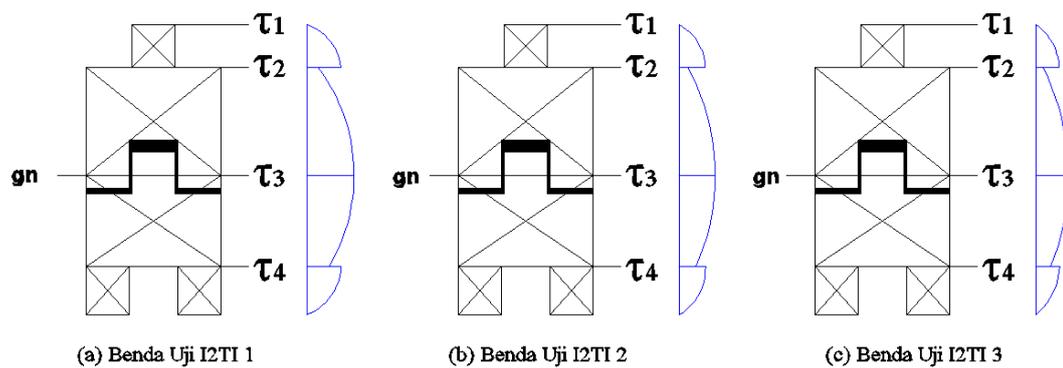
Perhitungan untuk pengujian ini dilakukan sama seperti pada pengujian sebelumnya yaitu pengujian *interlocking* 2 lapisan siar tegak segaris (I2SI). Inersia dan letak garis netral pada pengujian memiliki nilai yang sama seperti pada pengujian I2SI. Hasil perhitungan tegangan lentur dan geser untuk seluruh benda uji yaitu I2TI 1, I2TI 2, dan I2TI 3 seperti pada Tabel 5.15 dan Tabel 5.16.

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Tegangan Lentur I2TI

Benda Uji	P (N)	L (mm)	M (Nm)	\bar{y}	I (mm ⁴)	σ (MPa)	σ Rerata (MPa)
I2TI 1	5631,3	720	34261,5	115,1	23224670,8	30,559	25,013
I2TI 2	21538,4	720	26309,4	115,1	23224670,8	23,446	
I2TI 3	8850,1	720	23559,4	115,1	23224670,8	21,013	

$$\text{Rerata tegangan geser } (\tau) = \frac{3,864 + 2,967 + 2,657}{3} = 3,163 \text{ MPa}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tegangan geser pada masing-masing benda uji, tegangan geser maksimum terletak pada τ_3 yaitu pada garis netral. Hal tersebut dipengaruhi oleh statik momen serta lebar dari penampang pada titik yang ditinjau. Grafik tegangan geser dapat dilihat seperti pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Grafik Tegangan Geser I2TI

Grafik pada Gambar 5.6 di atas menunjukkan tegangan geser lentur maksimum pada masing-masing benda uji terdapat pada garis netral yaitu pada titik τ_3 tiap penampang potongan searah pembebanan. Tegangan geser terbesar terdapat pada benda uji I2TI 2 sebesar 3,864 MPa dan diperoleh rerata sebesar 3,163 MPa.

Tabel 5.16 Hasil Pengujian Tegangan Geser I2TI

Benda Uji	P (N)	L (mm)	V (N)	I_{x_i} (mm ⁴)	Titik Tinjauan	A_i (mm)	$Q = A_i \times \bar{y}b$ (mm ³)	b (mm)	τ_i (MPa)
I2TI 1	34261,6	720	17130,8	23224670,8	1-1	0	0	35	0
					2-2	1225	131587,4	35	2,773
								110	0,882
					3-3	1225	131587,4	110	3,864
						9891	444691,2		
					4-4	2800	266228,9	110	1,785
70	2,805								
I2TI 2	26309,5	720	13154,7	23224670,8	1-1	0	0	35	0
					2-2	1225	131587,4	35	2,130
								110	0,678
					3-3	1225	131587,4	110	2,967
						9891	444691,2		
					4-4	2800	266228,9	110	1,371
70	2,154								
I2TI 3	23559,5	720	11779,7	23224670,8	1-1	0	0	35	0
					2-2	1225	131587,4	35	1,907
								110	0,607
					3-3	1225	131587,4	110	2,657
						9891	444691,2		
					4-4	2800	266228,9	110	1,228
70	1,929								

2. *Interlocking* 3 lapisan dengan siar tegak tidak segaris (I3TI)

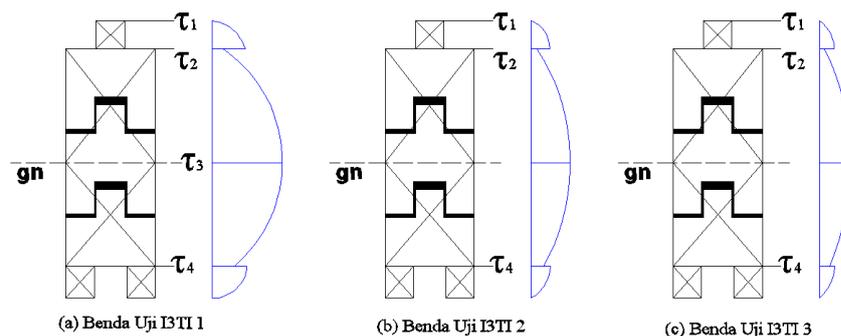
Perhitungan untuk pengujian ini dilakukan sama seperti pada pengujian sebelumnya yaitu pengujian *interlocking* 2 lapisan siar tegak segaris (I2SI) dan *interlocking* 2 lapisan siar tegak tidak segaris (I2TI) hanya berbeda pada letak garis netral dan nilai dari inersia yang lebih besar karena jumlah susunan yang lebih banyak. Berikut merupakan hasil dari perhitungan tegangan lentur dan tegangan geser dari semua benda uji.

Tabel 5.17 Hasil Pengujian Tegangan Lentur I3TI

Benda Uji	P (N)	L (mm)	M (Nm)	\bar{y}	I (mm ⁴)	σ (MPa)	σ Rerata (MPa)
I3TI 1	50803,2	720	9144572,03	167,7	34837006,3	44,013	29,385
I3TI 2	28318,8	720	5097383,6	167,7	34837006,3	24,534	
I3TI 3	22633,4	720	4074009,8	167,7	34837006,3	19,608	

$$\text{Rerata tegangan geser } (\tau) = \frac{8,683 + 4,840 + 3,869}{3} = 5,797 \text{ MPa}$$

Dari hasil perhitungan tegangan geser pada masing-masing benda uji, tegangan geser maksimum terletak pada τ_3 yaitu pada garis netral. Hal tersebut dipengaruhi oleh statik momen serta lebar dari penampang pada titik yang ditinjau. Grafik tegangan geser dapat dilihat seperti pada Gambar 5.8 berikut.



Gambar 5.8 Grafik Tegangan Geser I3TI

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.7 di atas tegangan geser lentur maksimum pada masing-masing benda uji terdapat pada garis netral yaitu pada titik τ_3 tiap penampang potongan searah pembebanan. Tegangan geser terbesar terdapat pada benda uji I2TI 1 sebesar 8,683 MPa dan diperoleh rerata sebesar 5,797 MPa.

Tabel 5.18 Hasil Pengujian Tegangan Geser I3TI

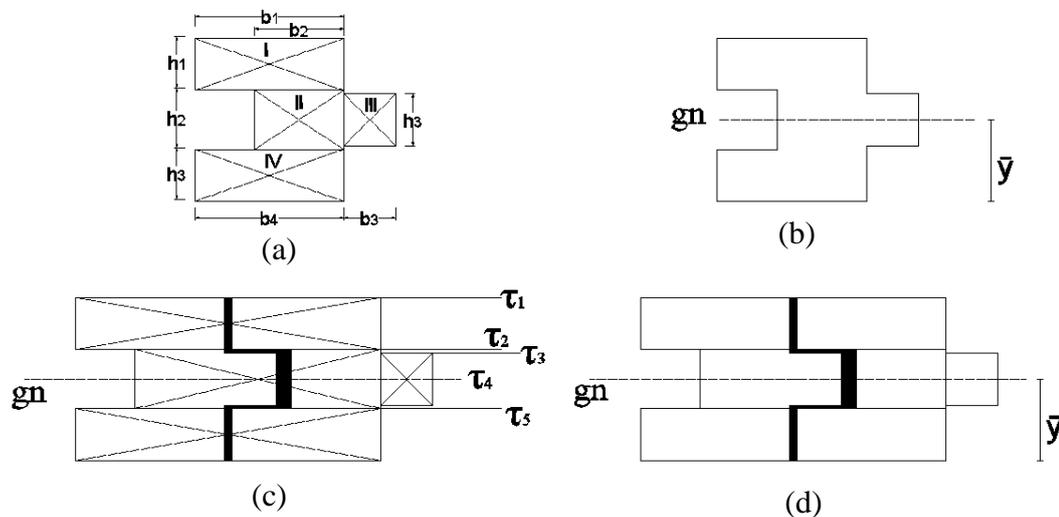
Benda Uji	P (N)	L (mm)	V (N)	I_{x_i} (mm ⁴)	Titik Tinjauan	A_i (mm)	$Q = A_i \times \bar{y}b$ (mm ³)	b (mm)	τ_i (MPa)		
I3TI 1	50803,2	720	25401.589	34837006,3	1-1	0	0	35	0		
					2-2	1225	195791,2	35	4,079		
								110	1,298		
					3-3	1225	195791,2	110	1114172,8	110	8,683
					4-4	2800	413477,4	110	2,741		
70	4,307										
I3TI 2	28318,7	720	14159.399	34837006,3	1-1	0	0	35	0		
					2-2	1225	195791,2	35	2,274		
								110	0,723		
					3-3	1225	195791,2	110	1114172,8	110	4,840
					4-4	2800	413477,4	110	1,528		
70	2,401										
I3TI 3	22633,4	720	11316.694	34837006,3	1-1	0	0	35	0		
					2-2	1225	195791,2	35	1,817		
								110	0,578		
					3-3	1225	195791,2	110	1114172,8	110	3,869
					4-4	2800	413477,4	110	1,221		
70	1,919										

5.4.2 Pengujian dengan Pembebanan Tegak Lurus Bidang (*out of plane*)

Pengujian *interlocking* pada dinding pasangan batako-kait diuji setelah berumur 28 hari dengan jumlah benda uji sebanyak 3 unit dinding pasangan pada masing-masing variasi jumlah susunan lapisan. Pengujian ini dilakukan dengan 2 tipe siar yaitu siar tegak segaris dan siar tegak tidak segaris. Perhitungan tegangan lentur dan tegangan geser pada pengujian ini menggunakan metode yang sama dengan perhitungan pada pengujian dengan pembebanan *in plane*. Berikut adalah perhitungan tegangan lentur tegangan geser dari masing-masing variasi pengujian dengan pembebanan tegak lurus bidang atau *out of plane*.

1. *Interlocking* 2 lapisan dengan siar tegak segaris (I2SO)

Perhitungan diawali dengan mencari letak garis netral untuk 1 penampang potongan searah pembebanan pada unit batako-kait, setelah itu dilakukan perhitungan inersia. Untuk menentukan letak garis netral dan inersia maka tampang dari potongan dibagi menjadi beberapa luasan seperti pada Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.9 Penampang Potongan Searah Pembebanan

- Letak garis netral dan inersia untuk 1 unit batako:

Lebar (b) : $b_1= 35 \text{ mm}$; $b_2= 110 \text{ mm}$; $b_3= 35 \text{ mm}$; $b_4= 35 \text{ mm}$.

Tinggi (h) : $h_1= 35 \text{ mm}$; $h_2= 60 \text{ mm}$; $h_3= 35 \text{ mm}$; $h_4= 35 \text{ mm}$.

$$\begin{aligned}\bar{y} &= \frac{\sum A_i \cdot y_i}{\sum A_i} \\ &= \frac{(100 \times 35 \times 92,5) + (60 \times 40 \times 55) + (35 \times 35 \times 55) + (100 \times 35 \times 17,5)}{(100 \times 35) + (60 \times 40) + (35 \times 35) + (100 \times 35)} \\ &= 55 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I &= \sum (I_{xi} + A_i \cdot \delta y^2) \\ &= \left(\frac{1}{12} \times 100 \times 35 + 3500 \times (92,5 - 55)^2\right) + \left(\frac{1}{12} \times 60 \times 40^3 + 2400 \times (55 - 55)^2\right) \\ &\quad + \left(\frac{1}{12} \times 35 \times 35^3 + 1225 \times (55 - 55)^2\right) + \left(\frac{1}{12} \times 100 \times 35^3 + 3500 \times (17,5 - 55)^2\right) \\ &= 5279166,7 \text{ mm}^4 + 320000 \text{ mm}^4 + 125052,1 \text{ mm}^4 + 5279166,7 \text{ mm}^4 \\ &= 11003385,5 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

Berdasarkan data di atas, maka dapat dihitung tegangan lentur dan tegangan geser sebagai berikut.

a. Perhitungan tegangan lentur

Contoh perhitungan tegangan lentur untuk benda uji I2SO 1 dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.4.

$$\begin{aligned}M &= \frac{1}{4} P \cdot L \\ &= \frac{1}{4} \times 1832,2 \times 720 \\ &= 329801,3 \text{ Nm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{M \times \bar{y}}{2I} \\ &= \frac{329801,3 \times 55}{2 \times 11612335,4} = 0,824 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan momen inersia, garis netral dan pengujian kuat lentur unit batako-kait untuk seluruh benda uji seperti pada Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5.19 Hasil Pengujian Tegangan Lentur I2S0

Benda Uji	P (N)	L (mm)	M (Nm)	\bar{y}	I (mm ⁴)	σ (MPa)	σ Rerata (MPa)
I2SO 1	1832,2	720	329801,3	55	22006770,8	0,824	0,865
I2SO 2	2093,7	720	376864,1	55	22006770,8	0,942	
I2SO 3	18409,6	720	331300,7	55	22006770,8	0,828	

Dari hasil pengujian tegangan lentur diperoleh hasil rerata sebesar 0,865 MPa dan nilai tegangan lentur tertinggi pada benda uji I2SI 2 yaitu sebesar 0,942 MPa.

e. Perhitungan tegangan geser

Perhitungan tegangan geser dilakukan dengan meninjau pada beberapa titik seperti pada Gambar 5.8 (c) untuk mencari nilai tegangan geser maksimum dari hasil pengujian. Berikut adalah perhitungan tegangan geser untuk benda uji I2SO 1 dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.5.

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2} P \\ &= \frac{1}{2} \times 1832,1 \text{ N} \\ &= 916,1 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \frac{V \times Q}{2I \times b_1} \\ &= \frac{916,1 \times 0}{2 \times 11003385,4 \times 205} \\ &= 0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_2 \text{ tepi atas} &= \frac{V \times Q}{2I \times b_2} \\ &= \frac{916,1 \times 269062,5}{2 \times 11003385,4 \times 205} \\ &= 0,055 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_2 \text{ tepi bawah} &= \frac{V \times Q}{2I \times b_2} \\ &= \frac{916,1 \times 269062,5}{2 \times 11003385,4 \times 165} \\ &= 0,068 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tau_{3 \text{ tepi atas}} &= \frac{V \times Q}{2I \times b_3} & \tau_{3 \text{ tepi atas}} &= \frac{V \times Q}{2I \times b_3} \\
 &= \frac{916,1 \times (269062,5 + 7734,4)}{2 \times 11003385,4 \times 165} & &= \frac{916,1 \times (269062,5 + 7734,4)}{2 \times 11003385,4 \times 200} \\
 &= 0,070 \text{ MPa} & &= 0,058 \text{ MPa} \\
 \\
 \tau_4 &= \frac{V \times Q}{2I \times b_4} \\
 &= \frac{916,1 \times (269062,5 + 7734,4 + 30625)}{2 \times 11003385,4 \times 200} \\
 &= 0,064 \text{ MPa} \\
 \\
 \tau_5 &= \frac{V \times Q}{2I \times b_5} \\
 &= \frac{916,1 \times 7734,4}{2 \times 11003385,4 \times 165} \\
 &= 0,070 \text{ MPa} \\
 \\
 \tau_{6 \text{ tepi atas}} &= \frac{V \times Q}{2I \times b_6} & \tau_{6 \text{ tepi bawah}} &= \frac{V \times Q}{2I \times b_6} \\
 &= \frac{916,1 \times 269062,5}{2 \times 11003385,4 \times 165} & &= \frac{916,1 \times 269062,5}{2 \times 11003385,4 \times 205} \\
 &= 0,068 \text{ MPa} & &= 0,055 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan tegangan geser untuk seluruh benda uji seperti pada Tabel 5.20. Berdasarkan hasil perhitungan tegangan geser pada masing-masing benda uji, maka diperoleh rerata tegangan geser seperti berikut.

$$\text{Rerata tegangan geser } (\tau) = \frac{0,070 + 0,080 + 0,070}{3} = 0,073 \text{ MPa}$$

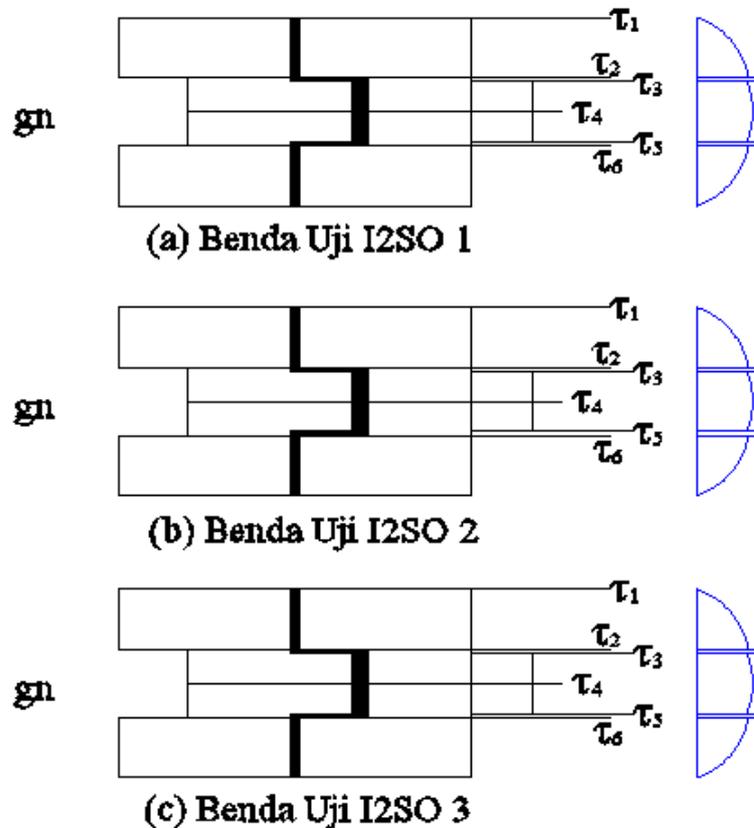
Hasil dari perhitungan tegangan geser pada masing-masing benda uji menunjukkan bahwa tegangan geser maksimum terdapat pada titik tinjau τ_3 dan τ_5 . Hal tersebut terjadi karena dipengaruhi oleh statik momen dan lebar dari penampang pada titik yang ditinjau. Grafik tegangan geser dapat dilihat seperti pada Gambar 5.10.

Tabel 5.20 Hasil Pengujian Tegangan Geser I2SO

Benda Uji	P (N)	L (mm)	V (N)	I_{x_i} (mm ⁴)	Titik Tinjauan	A_i (mm)	$Q = A_i \times \bar{y}b$ (mm ³)	b (mm)	τ_i (MPa)		
I2SO 1	1832,2	720	916,2	22006770,8	1-1	0	0	205	0		
					2-2	7175	269062,5	205	0,055		
								165	0,068		
					3-3	412,5	7734,4	165	0,070		
								200	0,058		
					4-4	7175	269062,5	200	0,064		
										412,5	7734,4
										3500	30625
					5-5	412,5	7734,4	200	0,058		
								165	0,070		
					6-6	7175	269062,5	165	0,068		
								205	0,055		
I2SO 2	2093,7	720	1046,9	22006770,8	1-1	0	0	205	0		
					2-2	7175	269062,5	205	0,062		
								165	0,078		
					3-3	412,5	7734,4	165	0,080		
								200	0,066		
					4-4	7175	269062,5	200	0,073		
										412,5	7734,4
										3500	30625
					5-5	412,5	7734,4	200	0,066		
								165	0,080		
					6-6	7175	269062,5	165	0,078		
								205	0,062		

Lanjutan Tabel 5.20 Hasil Pengujian Tegangan Geser I2SO

Benda Uji	P (N)	L (mm)	V (N)	I_{x_i} (mm ⁴)	Titik Tinjauan	A_i (mm)	$Q = A_i \times \bar{y}b$ (mm ³)	b (mm)	τ_i (MPa)		
I2SO 3	1840,6	720	920,3	22006770,8	1-1	0	0	205	0		
					2-2	7175	269062,5	205	0,055		
								165	0,068		
					3-3	412,5	7734,4	165	0,070		
								200	0,058		
					4-4	7175	269062,5	200	0,064		
										3300	33000
										612,5	5359,4
					5-5	412,5	7734,4	200	0,058		
								165	0,070		
					6-6	7175	269062,5	165	0,068		
								205	0,055		



Gambar 5.10 Grafik Tegangan Geser I2SO

2. *Interlocking* 2 lapisan dengan siar tegak tidak segaris (I2TO)

Perhitungan untuk pengujian ini dilakukan sama seperti pada pengujian sebelumnya yaitu pengujian *interlocking* 2 lapisan siar tegak segaris (I2SO). Inersia dan letak garis netral pada pengujian memiliki nilai yang sama seperti pada pengujian I2SO. Hasil perhitungan tegangan lentur dan geser untuk seluruh benda uji yaitu I2TO 1, I2TO 2, dan I2TO 3 seperti pada Tabel 5.21 dan Tabel 5.22 berikut.

Tabel 5.21 Hasil Pengujian Tegangan Lentur I2TO

Benda Uji	P (N)	L (mm)	M (Nm)	\bar{y}	I (mm ⁴)	σ (MPa)	σ Rerata (MPa)
I2TO 1	4614,5	720	830613,5	55	23224670,8	2,076	1,849
I2TO 2	3578,1	720	644050,7	55	23224670,8	1,610	
I2TO 3	4138,5	720	744926,3	55	23224670,8	1,862	

Tabel 5.22 Hasil Pengujian Tegangan Geser I2TO

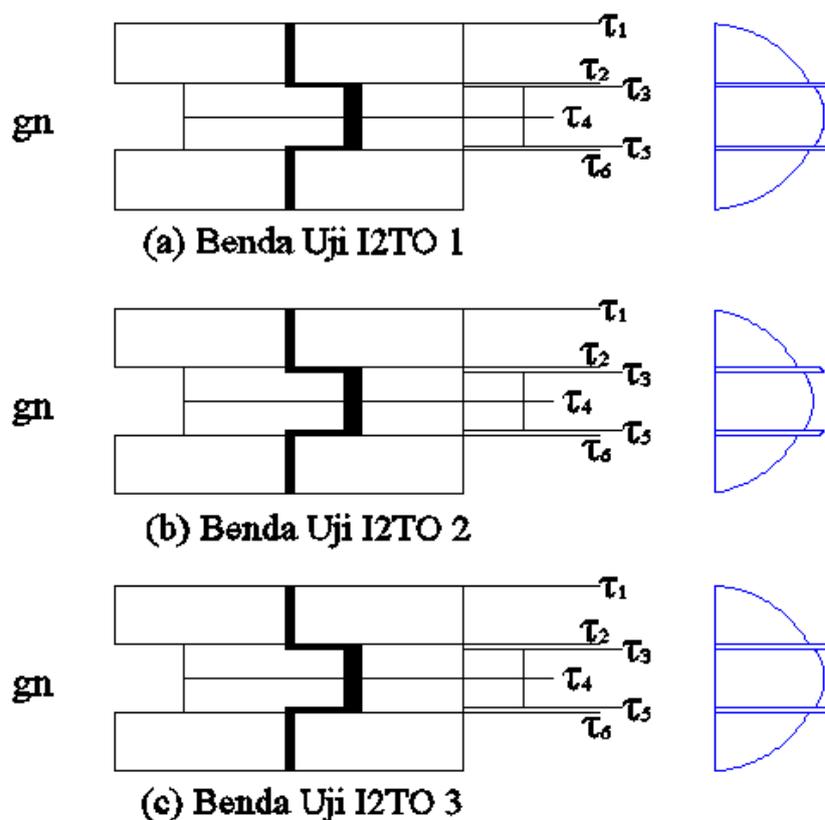
Benda Uji	P (N)	L (mm)	V (N)	I_{x_i} (mm ⁴)	Titik Tinjauan	A_i (mm)	$Q = A_i \times \bar{y}b$ (mm ³)	b (mm)	τ_i (MPa)		
I2TO 1	46145	720	2307,3	22006770,8	1-1	0	0	205	0		
					2-2	7175	269062,5	205	0,138		
								165	0,171		
					3-3	412,5	7734,4	165	0,176		
								200	0,145		
					4-4	7175	269062,5	200	0,161		
										412,5	7734,4
					5-5	412,5	7734,4	200			
								165	0,176		
					6-6	7175	269062,5	165	0,171		
								205	0,138		
I2TO 2	3578,1	720	1789	22006770,8	1-1	0	0	205	0		
					2-2	7175	269062,5	205	0,107		
								165	0,133		
					3-3	412,5	7734,4	165	0,136		
								200	0,113		
					4-4	7175	269062,5	200	0,125		
										412,5	7734,4
					5-5	412,5	7734,4	200	0,113		
								165	0,136		
					6-6	7175	269062,5	165	0,133		
								205	0,107		

Lanjutan Tabel 5.22 Hasil Pengujian Tegangan Geser I2TO

Benda Uji	P (N)	L (mm)	V (N)	I_{x_i} (mm ⁴)	Titik Tinjauan	A_i (mm)	$Q = A_i \times \bar{y}b$ (mm ³)	b (mm)	τ_i (MPa)		
I2TO 3	4138,5	720	2069,2	22006770,8	1-1	0	0	205	0		
					2-2	7175	269062,5	205	0,123		
								165	0,153		
					3-3	412,5	7734,4	165	0,158		
								200	0,130		
					4-4	7175	269062,5	200	0,145		
										412,5	7734,4
										3500	30625
					5-5	412,5	7734,4	200	0,130		
								165	0,158		
					6-6	7175	269062,5	165	0,153		
								205	0,123		

$$\text{Rerata tegangan geser lentur } (\tau) = \frac{0,176 + 0,136 + 0,158}{3} = 0,157 \text{ MPa}$$

Hasil dari perhitungan tegangan geser pada masing-masing benda uji menunjukkan bahwa tegangan geser maksimum terdapat pada titik tinjau τ_3 dan τ_5 . Hal tersebut terjadi karena penampang potongan yang simetris terhadap sumbu mendatar serta dipengaruhi oleh statik momen dan lebar dari penampang pada titik yang ditinjau. Grafik tegangan geser dapat dilihat seperti pada Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5.11 Grafik Tegangan Geser I2TO

3. *Interlocking* 3 lapisan dengan siar tegak tidak segaris (I3TO)

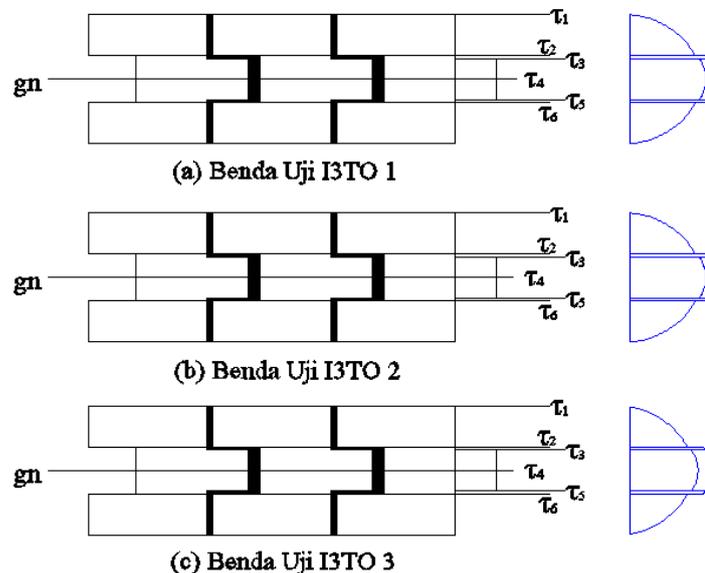
Perhitungan untuk pengujian ini dilakukan sama seperti pada pengujian sebelumnya yaitu pengujian *interlocking* 2 lapisan siar tegak segaris (I2SO) dan *interlocking* 2 lapisan siar tegak tidak segaris (I2TO) nilai dari inersia yang lebih besar karena jumlah susunan yang lebih banyak. Hasil dari perhitungan tegangan lentur dan tegangan geser dari semua benda uji terdapat pada Tabel 5.23 dan Tabel 5.24.

Tabel 5.23 Hasil Pengujian Tegangan Lentur I3TO

Benda Uji	P (N)	L (mm)	M (Nm)	\bar{y}	I (mm ⁴)	σ (MPa)	σ Rerata (MPa)
I3TO 1	8195,8	720	1475238,5	55	33010156,3	2,458	2,281
I3TO 2	7946,8	720	1430425,7	55	33010156,3	2,383	
I3TO 3	6669,7	720	1200551,32	55	33010156,3	2,000	

$$\text{Rerata tegangan geser } (\tau) = \frac{0,193 + 0,187 + 0,157}{3} = 0,179 \text{ MPa}$$

Dari hasil perhitungan tegangan geser, sama halnya dengan variasi pengujian sebelumnya yaitu I2SO dan I2TO, tegangan geser maksimum pada variasi pengujian ini memiliki tegangan maksimum yang terletak pada tinjau τ_3 dan τ_5 . Hal tersebut dipengaruhi oleh inersia yang lebih besar, statik momen serta lebar dari penampang pada titik yang ditinjau. Grafik tegangan geser dapat dilihat seperti pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5.12 Grafik Tegangan Geser I3TO

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.12 di atas tegangan geser lentur maksimum pada masing-masing benda uji terdapat pada garis netral yaitu pada titik τ_3 tiap penampang potongan searah pembebanan. Tegangan geser terbesar terdapat pada benda uji I3TO 1 sebesar 0,193 MPa dan diperoleh rerata sebesar 0,179 MPa.

Tabel 5.24 Hasil Pengujian Tegangan Geser I3TO

Benda Uji	P (N)	L (mm)	V (Nm)	I_{xx} (mm⁴)	Titik Tinjauan	A_i (mm)	$Q = A_i \times \bar{y}b$ (mm³)	b (mm)	τ_i (MPa)		
I3TO 1	8195,8	720	4097,9	33010156,3	1-1	0	0	310	0		
					2-2	10850	406875	310	0,163		
								270	0,187		
					3-3	675	12656,25	270	0,193		
								305	0,171		
					4-4	10850	406875	305	0,190		
										675	12656,3
										5337,5	46703,1
					5-5	675	12656,25	305	0,171		
								270	0,193		
					6-6	10850	406875	270	0,187		
								310	0,163		
I3TO 2	7946,8	720	3973,4	33010156,3	1-1	0	0	310	0		
					2-2	10850	406875	310	0,158		
								270	0,181		
					3-3	675	12656,25	270	0,187		
								305	0,166		
					4-4	10850	406875	305	0,184		
										675	12656,3
										5337,5	46703,1
					5-5	675	12656,25	305	0,166		
								270	0,187		
					6-6	10850	406875	270	0,181		
								310	0,158		

Lanjutan Tabel 5.24 Hasil Pengujian Tegangan Geser I3TO

Benda Uji	P (N)	L (mm)	V (N)	I_{x_i} (mm ⁴)	Titik Tinjauan	A_i (mm)	$Q = A_i \times \bar{y}b$ (mm ³)	b (mm)	τ_i (MPa)
I3TO 3	6669,7	720	3334,9	33010156,3	1-1	0	0	310	0
					2-2	10850	406875	310	0,133
								270	0,152
					3-3	675	12656,25	270	0,157
								305	0,139
					4-4	10850	406875	305	0,154
						675	12656,3		
						5337,5	46703,1		
					5-5	675	12656,25	305	0,139
								270	0,157
					6-6	10850	406875	270	0,152
								310	0,133

Hasil dari perhitungan tegangan lentur dan geser pada semua pengujian unit dinding pasangan batako-kait dengan pembebanan *in plan* maupun *out of plane* serta dengan variasi jumlah susunan dan tipe siar yang berbeda direkap dalam Tabel 5.25 berikut.

Tabel 5.25 Hasil Rekapitulasi Pengujian Unit Dinding Batako-kait

Type Pembebanan	Benda Uji	σ Rerata (MPa)	τ Rerata (MPa)
<i>In Plane</i>	I2SI	10,655	1,347
	I2TI	25,013	3,163
	I3TI	29,385	5,797
<i>Out of Plane</i>	I2SO	0,865	0,073
	I2TO	1,844	0,157
	I3TO	2,281	0,179

5.5 Pembahasan

5.5.1 Pengujian Kuat Tekan Mortar

Pada pengujian kuat tekan mortar yang terbuat dari semen (PC) dan abu batu (AB) terdapat tiga komposisi campuran yaitu 1PC:1AB, 1PC:2AB, dan 1PC:3AB. Dari ketiga komposisi campuran tersebut diperoleh hasil kuat tekan mortar seperti tampak pada Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5.13 Grafik Kuat Tekan Mortar

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, nilai kuat tekan mortar tertinggi terdapat pada mortar dengan komposisi campuran 1PC:2AB yaitu sebesar 29,420 MPa. Berdasarkan SNI 03-6882-2002, nilai kuat tekan tersebut masuk dalam mortar Tipe M yaitu mortar yang mempunyai kekuatan lebih dari 17,2 MPa. Hasil pengujian tersebut dipengaruhi oleh jumlah komposisi campuran antar semen dan abu batu. Dengan perbandingan komposisi campuran yang sama antara semen dan abu batu yaitu 1PC:1AB, diperoleh nilai kuat tekan yang cukup tinggi sebesar 23,680 MPa. Pada perbandingan komposisi campuran yang kedua yaitu 1PC:2AB, kuat tekan mortar mengalami peningkatan menjadi 29,420 MPa. Peningkatan nilai kuat tekan mortar tersebut disebabkan karena adanya penambahan kadar abu batu sehingga mampu mengisi rongga-rongga yang ada di dalam campuran mortar, sehingga menjadi lebih padat dan dapat meningkatkan kuat tekan. Pada perbandingan komposisi campuran yang ketiga yaitu 1PC:3AB nilai kuat tekan mengalami penurunan menjadi 23,663 MPa. Penurunan tersebut diperkirakan karena air yang digunakan untuk campuran banyak diserap oleh abu batu. Hal ini terlihat pada saat pengadukan, semakin meningkat prosentase kadar abu batu dicampurkan semakin rendah workabilitas-nya. Kurangnya kadar air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi memungkinkan proses hidrasi terhenti sebelum mortar mencapai kekuatan maksimum.

5.5.2 Pengujian Unit Batako-kait

Dari hasil perhitungan pengujian unit batako-kait diperoleh nilai rerata kekuatan dari masing-masing pengujian sebagaimana disajikan pada Tabel 5.26 berikut.

Tabel 5.26 Hasil Rekapitulasi Pengujian Unit Batako-Kait

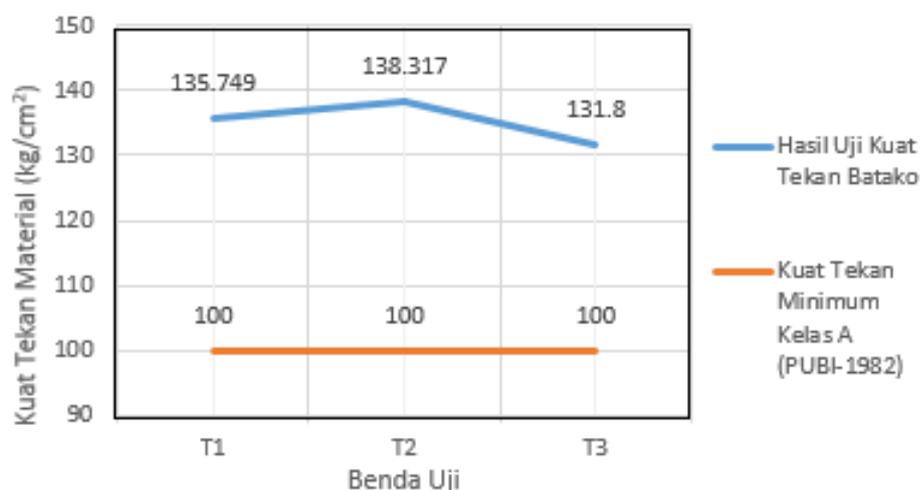
No	Jenis Pengujian	Rerata Kekuatan Hasil Pengujian (MPa)
1	Kuat tekan	$f'c = 13,272$
2	Kuat geser lentur (tegak lurus bidang)	$\sigma = 2,960$; $\tau = 0,762$
3	Kuat geser-lentur (searah bidang)	$\sigma = 16,680$; $\tau = 3,284$
4	Kuat geser murni horizontal	$\tau = 3,481$
5	Kuat geser murni vertikal	$\tau = 1,208$

Hasil yang disajikan pada Tabel 5.26 akan dijabarkan pada masing-masing jenis pengujian sebagai berikut.

1. Pengujian kuat tekan unit batako-kait

Dari hasil pengujian kuat tekan unit batako-kait dengan komposisi campuran 1PC:8PS diperoleh nilai kuat tekan masing-masing benda uji sebesar 135,749 kgf/cm², 138,317 kgf/cm², dan 131,8 kgf/cm² seperti pada Gambar 5.14 serta diperoleh rerata sebesar 135,288 kgf/cm². Hasil tersebut jauh lebih besar bila dibandingkan dengan hasil penelitian kuat tekan batako yang dilakukan oleh Prayoga (2007) dengan campuran yang sama yaitu 1PC:8PS hanya menghasilkan kuat tekan sebesar 25,219 kg/cm². Perbedaan dari kuat tekan antara batako-kait dengan batako hasil penelitian Prayoga (2007) adalah dikarenakan proses pembuatan batako hanya menggunakan cetakan yang terbuat dari *styrofoam* sehingga pematatannya tidak maksimal sedangkan untuk pembuatan batako-kait menggunakan cetakan yang terbuat dari pelat besi agar dapat dilakukan pematatan yang lebih maksimal sehingga diperoleh kuat tekan yang lebih tinggi dengan komposisi campuran antara semen dan pasir yang sama.

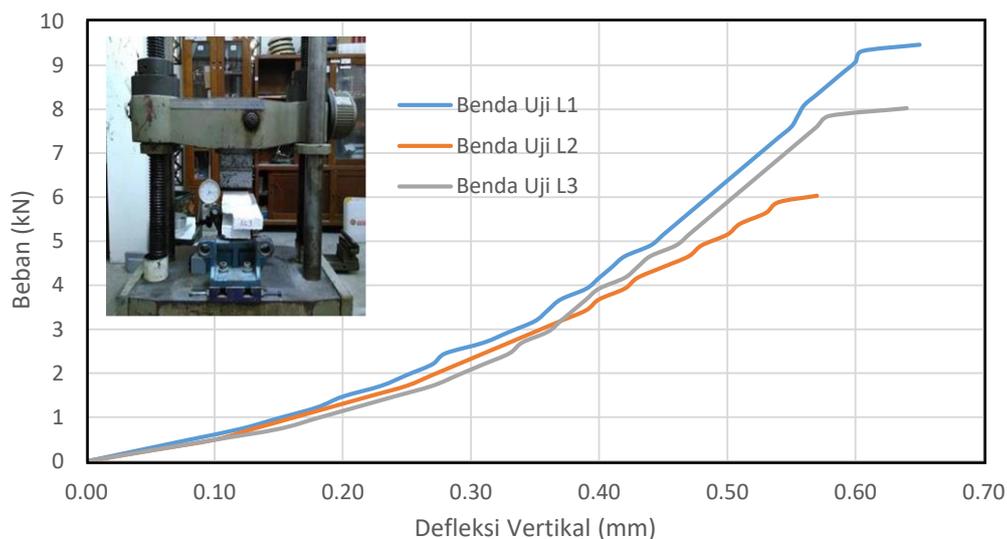
Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan unit batako-kait, dapat disimpulkan bahwa batako-kait masuk ke dalam kelas A dengan nilai kuat tekan minimal yang disyaratkan sebesar 100 kgf/cm² berdasarkan klasifikasi kekuatan tekan batako menurut PUBI-1982 yaitu untuk pemakaian pada bagian luar, baik yang memikul beban maupun yang tidak memikul beban.



Gambar 5.14 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Unit Batako-Kait

2. Kuat Geser Lentur (Tegak Lurus Bidang)

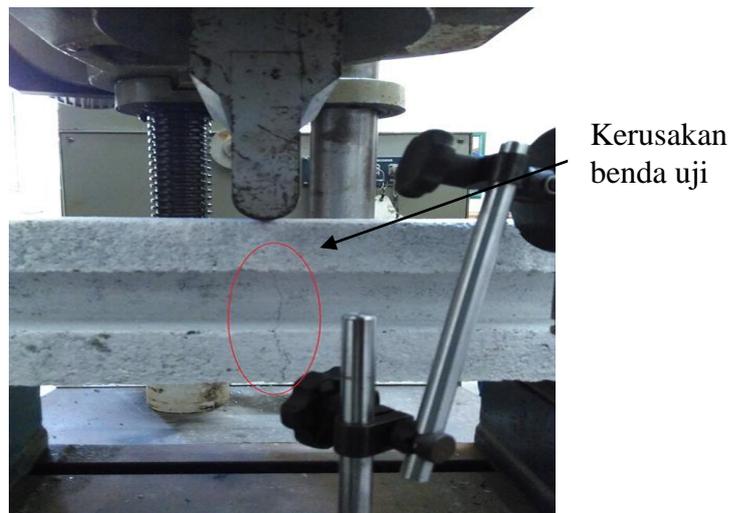
Pada hasil pengujian geser lentur unit batako-kait diperoleh dan kuat lentur rerata dari tiga benda uji sebesar 2,960 MPa dan kuat geser rerata sebesar 0,762 MPa dengan beban maksimum 9466,650 N. Dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Pambudi (2009) mengenai penelitian batako dengan campuran 1PC:6PS menghasilkan kuat lentur 2,410 kg/cm² atau 0,236 MPa, penelitian batako-kait ini memiliki kuat lentur lebih tinggi dengan rasio campuran untuk semen dan pasir yang lebih ekonomis yaitu 1PC:8PS. Hal tersebut disebabkan karena dimensi yang berbeda dan proses pemadatan yang kurang maksimal pada penelitian terdahulu. Dari pengujian diperoleh grafik hubungan beban defleksi untuk tiap benda uji seperti pada Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.15 Grafik Beban-Defleksi Pengujian Kuat Lentur Unit Batako-Kait

Berdasarkan Gambar 5.14, ketiga benda uji mengalami pola hubungan beban-defleksi yang tidak jauh berbeda. Nilai defleksi dari pengujian geser lentur tegak lurus bidang pada beban maksimum adalah sebesar 0,61 mm. Dari grafik pada Gambar 5.14 terlihat bahwa ketiga benda uji mengalami pola hubungan beban-defleksi yang relatif sama yaitu setelah terjadi retak pertama, benda uji tidak langsung mengalami keruntuhan dan masih dapat menahan beban. Kerusakan yang terjadi pada benda uji merupakan kerusakan akibat kegagalan lentur. Pada Gambar

5.16 kerusakan tampak terjadi pada tengah bentang dan searah dengan pembebanan. Pada benda uji tidak ada retak/kerusakan diagonal yang tampak pada daerah dekat tumpuan, yang disebabkan oleh tegangan geser yang terjadi. Hal tersebut menunjukkan hubungan antara hasil perhitungan dimana diperoleh hasil tegangan lentur yang jauh lebih besar dari tegangan geser.



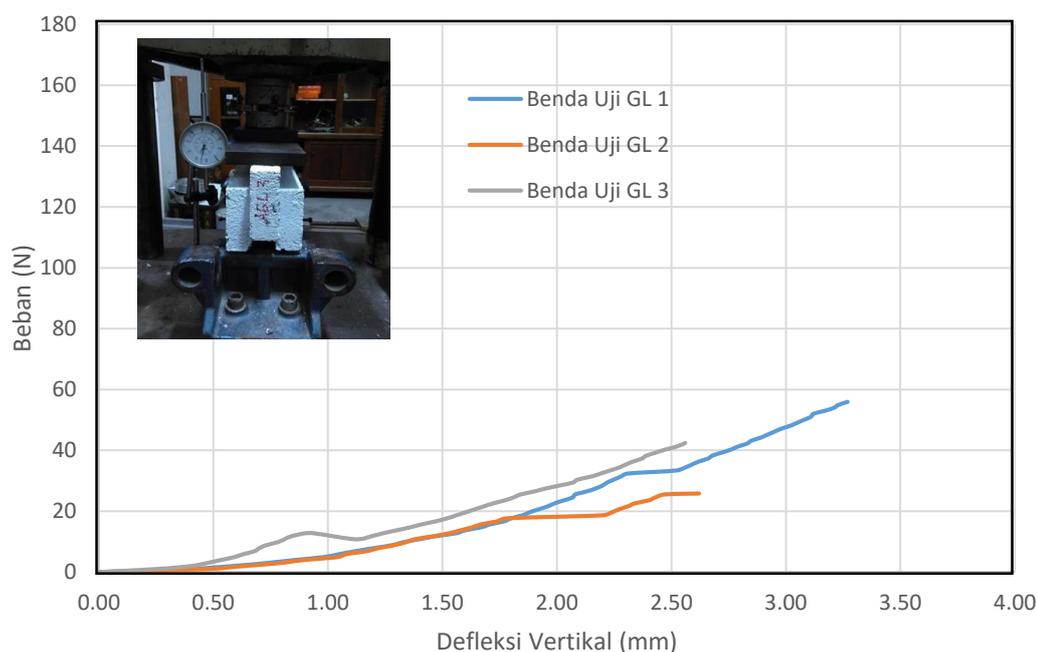
Gambar 5.16 Kerusakan Benda Uji Geser Lentur (Tegak Lurus Bidang)

3. Kuat Geser Lentur (Searah Bidang)

Pada pengujian geser lentur searah bidang diperoleh nilai rerata tegangan lentur sebesar 16,680 MPa dan tegangan geser sebesar 3,284 MPa dengan beban maksimum sebesar 55917 N dan defleksi 3,27 mm. Dari pengujian geser lentur diperoleh grafik hubungan beban-defleksi seperti pada Gambar 5.17. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa ketiga benda uji mengalami pola grafik hubungan beban-defleksi yang relatif sama. Sebelum terjadi retak pertama, ketiga benda uji mengalami penambahan beban yang cukup besar dilihat dari pola grafik yang curam. Pada benda uji GLS 1, retak pertama terjadi pada saat beban mencapai 33354 N, untuk benda uji GLS 2 dan GLS 3 retak pertama terjadi pada saat beban mencapai 17658 N dan 12753 N.

Kerusakan yang timbul pada pengujian geser lentur terletak pada tengah bentang dan pada daerah tumpuan seperti tampak pada Gambar 5.18. Kerusakan

yang terdapat pada tengah bentang terjadi karena kegagalan akibat tegangan lentur. Hal itu dibuktikan dengan hasil dari tegangan lentur yang jauh lebih besar dari tegangan geser yang terjadi. Hasil pengamatan pada saat pengujian, setelah terjadi keretakan pertama pada tengah bentang, kerusakan juga terjadi pada daerah tumpuan. Kerusakan tersebut terjadi pada letak titik tinjauan τ_2 seperti pada Gambar 3.6 (a). Hal itu berhubungan dengan hasil perhitungan tegangan geser, dimana pada masing-masing benda uji tegangan geser maksimum yang terjadi terdapat pada titik tinjauan τ_2 tepat diatas garis tinjauan. Hal itu terjadi karena lebar dari titik tinjauan dan statis momen terhadap garis netralnya. Dari hasil pengujian kuat lentur-geser, ketiga benda uji mengalami pola keretakan yang sama yaitu pada tengah bentang benda uji dan terjadi keruntuhan secara langsung ketika mencapai beban maksimum yaitu pada ujung benda uji seperti terlihat pada Gambar 5.18.



Gambar 5.17 Grafik Beban-Defleksi Pengujian Kuat Geser-Lentur Unit Batako-Kait

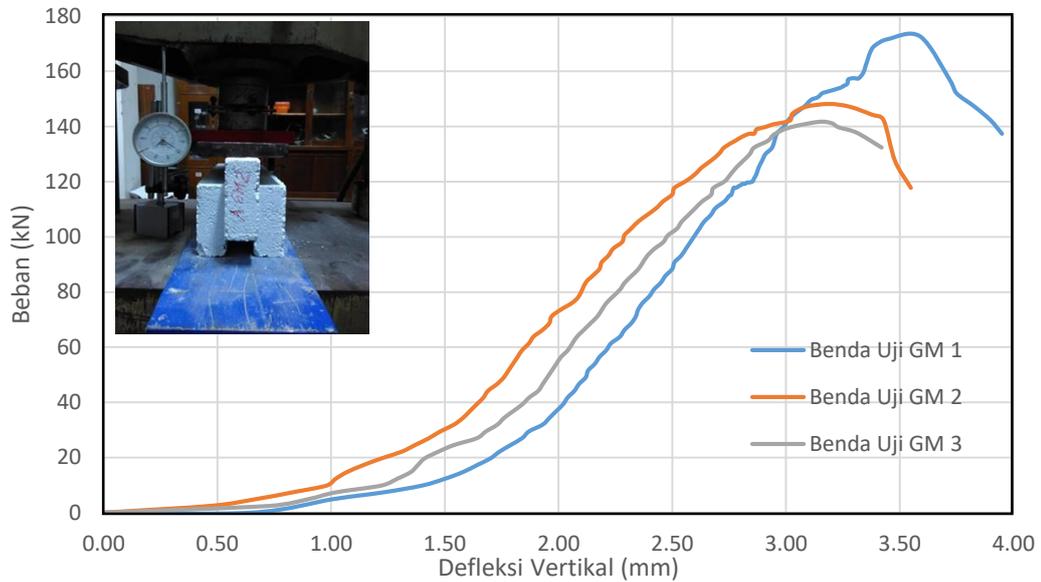


Gambar 5.18 Kerusakan Benda Uji Geser Lentur (Searah Bidang)

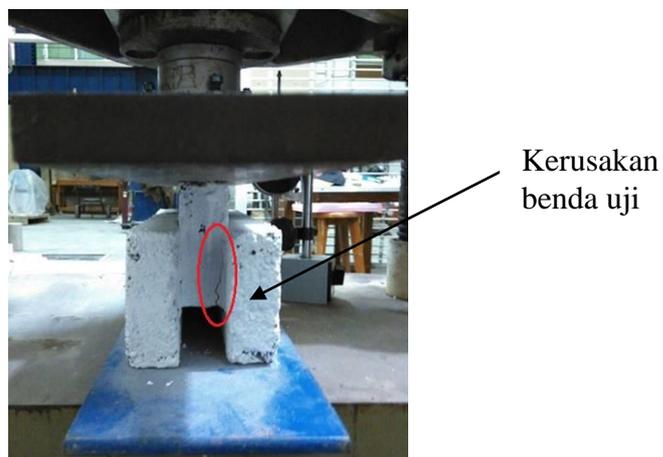
4. Kuat Geser Murni Horizontal

Pada pengujian kuat geser murni horizontal unit batako-kait diperoleh kuat geser tertinggi yaitu pada benda uji GM 1 sebesar 3,938 MPa dengan beban maksimum 172656 N dan defleksi vertikal maksimum sebesar 3,95 mm serta diperoleh kuat geser murni rerata dari ketiga benda uji sebesar 3,481 MPa. Hasil dari kuat geser murni unit batako-kait jauh lebih besar dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Pambudi (2009) mengenai batako dengan campuran 1PS:6PS yang memperoleh kuat geser murni sebesar 1,123 MPa. Pada Gambar 5.19 terlihat bahwa hubungan beban-defleksi antara ketiga benda uji yaitu GM 1, GM 2, dan GM 3 mengalami pola kenaikan beban yang sama. Pada benda uji GM 1 keretakan pertama terjadi saat beban mencapai 169222,5 N dan defleksi vertikal sebesar 3,39 mm. Untuk benda uji GM 2 dan GM 3 keretakan pertama terjadi pada beban 144697,5 N dan defleksi vertikal sebesar 3,03 mm serta pada beban 132435 N dan defleksi vertikal sebesar 2,86 mm.

Kerusakan yang terjadi pada pengujian geser murni terletak pada serat di area luasan yang menahan tegangan geser pada saat pengujian berlangsung seperti tampak pada Gambar 5.20. Hal ini sesuai dengan teori pada Subbab 3.6.4 bahwa gaya dalam yang timbul sejajar dengan permukaan potongan dan menyebabkan tegangan geser murni karena gaya luar berusaha menggeser/mematahkannya.



Gambar 5.19 Grafik Beban-Defleksi Pengujian Kuat Geser Murni Unit Batako-Kait



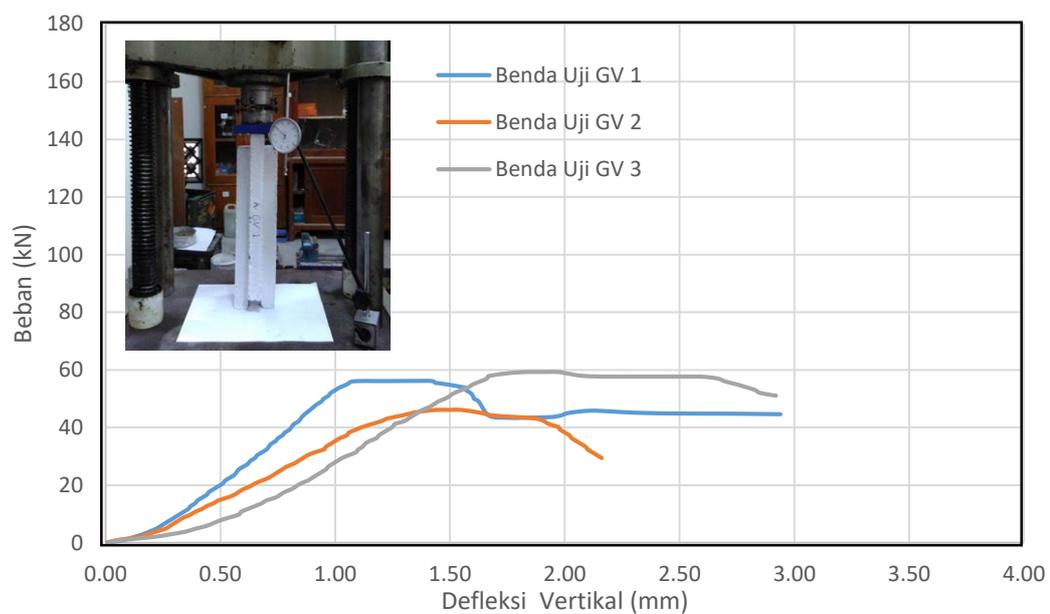
Gambar 5.20 Kerusakan Benda Uji Kuat Geser Murni

5. Kuat Geser Murni Vertikal

Pada pengujian kuat geser vertikal diperoleh kuat geser terbesar pada benda uji GV 3 yaitu 1,321 MPa dengan beban maksimum 59252 N dan defleksi vertikal sebesar 2,92 mm serta diperoleh rerata kuat geser vertikal dari ketiga benda uji sebesar 1,208 MPa. Nilai kuat geser murni vertikal hanya sebesar 34,7% dari nilai kuat geser murni horizontal. Hal tersebut disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah arah serat yang menerima beban dan kerusakan terjadi sebelum

tegangan geser maksimum yang dapat ditahan oleh luasan bidang gesernya terlampaui. Kerusakan terjadi pada daerah yang menumpu beban secara langsung seperti pada Gambar 5.22. Berbeda dengan pengujian geser murni horizontal kerusakannya terjadi pada serat di area luasan bidang gesernya.

Dari grafik beban-defleksi benda uji seperti tampak pada Gambar 5.21, pada benda uji GV 1, retak pertama terjadi ketika beban mencapai 56162,25 N dan defleksi vertikal sebesar 1,17 mm. Untuk benda uji GV 2 retak pertama terjadi pada saat mencapai beban 44145 N dan defleksi vertikal sebesar 1,29 mm serta pada benda uji GV 3 terjadi pada saat beban mencapai 58860 N dan defleksi vertikal sebesar 1,76 mm.



Gambar 5.21 Grafik Beban-Defleksi Pengujian Kuat Geser Vertikal Unit Batako-Kait



Gambar 5.22 Keruntuhan Benda Uji Geser Vertikal

5.5.3 Pengujian Unit Dinding Pasangan Batako-kait

Pengujian unit dinding pasangan batako-kait dilakukan berdasarkan perbedaan tipe pembebanannya yaitu dengan pembebanan searah bidang dinding (*in plane*) dan pembebanan tegak lurus bidang dinding (*out of plane*). Perbedaan tipe pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kekuatan dari kait (*interlocking*) dalam unit dinding pasangan batako-kait baik terhadap sumbu kuatnya maupun terhadap sumbu lemahnya.

1. Pembebanan searah bidang dinding (*in plane*)

Pada pengujian unit dinding pasangan batako-kait dengan pembebanan searah bidang dinding (*in plane*) terdapat 2 macam tipe siar yaitu siar tegak segaris dan siar tegak tidak segaris. Perbedaan tipe siar dalam penyusunan batako-kait sebagai dinding pasangan adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dalam hal kekuatan dalam menahan beban dengan perbedaan tipe siar tersebut. Dari hasil pengujian unit pasangan dinding batako-kait dengan pembebanan searah bidang dinding atau pengujian *interlocking in plane* untuk jenis siar tegak segaris diperoleh kuat lentur dan geser dari 3 benda uji I2SI sebesar 10,655 MPa dan 1,347 MPa sedangkan defleksi vertikal maksimum sebesar 3,358 mm. Untuk tipe siar tegak tidak segaris untuk benda uji I2TI diperoleh tegangan lentur dan geser maksimum sebesar 25,013 MPa dan 3,163 MPa dengan defleksi vertikal maksimum sebesar 3,475 sedangkan untuk benda uji I3TI diperoleh tegangan lentur dan geser

maksimum sebesar 29,385 MPa dan 5,797 MPa dengan defleksi vertikal maksimum sebesar 3,972 mm.

Dari hasil yang telah diperoleh tersebut dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan kekuatan yang cukup signifikan untuk unit dinding pasangan susunan 2 lapis yaitu antara benda uji I2SI dan I2TI. Perbedaan tersebut terjadi karena tipe siar yang berbeda sehingga berpengaruh pada posisi kaitnya (*interlocking*). Dengan menggunakan tipe siar tegak tidak segaris, unit dinding pasangan batako-kait mengalami peningkatan kuat lentur sebesar 134,75% dan kuat geser sebesar 134,82% dari unit pasangan dinding menggunakan tipe siar tegak segaris dengan pembebanan *in plane*. Dapat disimpulkan bahwa tipe siar tegak tidak segaris lebih efektif digunakan karena memiliki kekuatan dan kontribusi yang lebih dalam menahan beban secara *in plane* yang lebih besar dibandingkan dengan tipe siar tegak segaris. Untuk hasil dari pengujian unit dinding pasangan dengan tipe siar yang sama yaitu siar tegak tidak segaris dengan benda uji I2TI dan benda uji I3TI terdapat perbedaan kekuatan. Perbedaan tersebut disebabkan oleh jumlah susunan yang berbeda. Unit dinding pasangan susunan 3 lapisan mengalami peningkatan kekuatan sebesar 17,48% untuk kuat lentur dan 83,28% untuk kuat geser bila dibandingkan dengan unit dinding pasangan susunan 2 lapisan. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan tipe siar yang sama, jumlah susunan berpengaruh terhadap kekuatan dinding pasangan itu sendiri. Dari setiap pengujian yang dilakukan, kerusakan selalu terjadi pada bagian kait antar batako (*interlocking*) seperti tampak pada gambar 5.23.

Pada semua pengujian tampak kerusakan yang terjadi akibat kegagalan lentur dan geser. Susunan dengan tipe siar segaris mengalami kerusakan akibat lentur pada tengah bentang seperti pada tampak pada Gambar 5.23 (a) sedangkan untuk tipe siar tegak tidak segaris, kerusakan terjadi pada sambungan kait antar batako seperti pada Gambar 5.23 (b) dan (c). Kerusakan tersebut timbul karena tegangan lentur yang terjadi jauh lebih besar dari tegangan gesernya. Kerusakan pada bagian kait (*interlocking*) terjadi akibat tidak dapat menahan beban yang timbul. Nilai kuat tekan mortar yang lebih besar dari nilai kuat tekan material batako, ternyata masih

belum dapat memberikan kontribusi yang besar dalam menerima beban, terbukti dengan patahnya kaitan saat menerima beban.



(a)



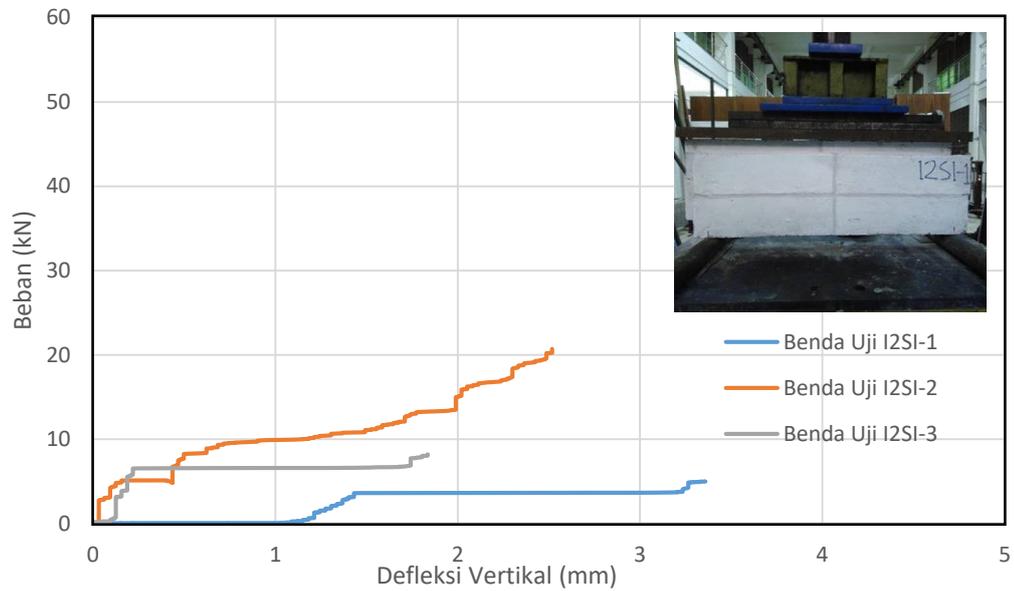
(b)



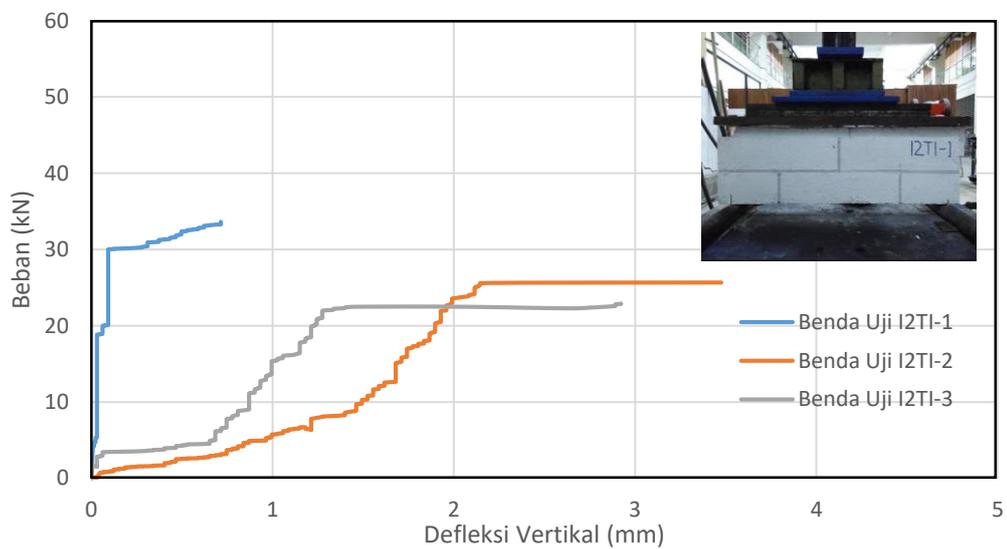
(c)

Gambar 5.23 Kerusakan Pada Pengujian Pembebanan Searah Bidang Dinding (*in plane*)

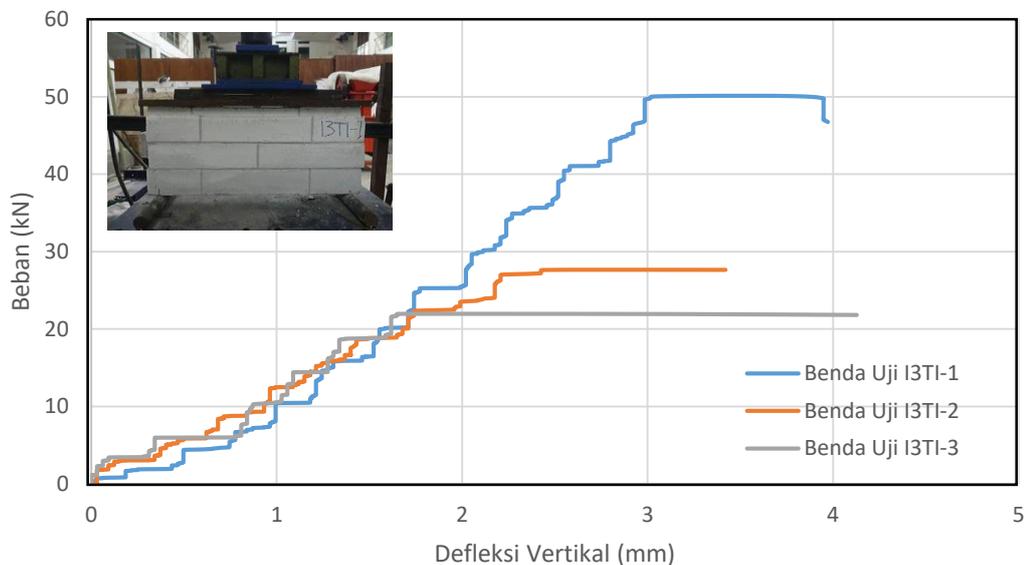
Dari hasil pengujian unit dinding pasangan batako-kait dengan pembebanan searah bidang dinding diperoleh grafik hubungan beban-defleksi seperti pada Gambar 5.24-5.26. Pada grafik tersebut menunjukkan tren pola kenaikan beban dan defleksi yang mirip satu dengan lainnya. Meskipun beban maksimum yang dapat dicapai menunjukkan perbedaan dari masing-masing pengujian dengan tipe siar dan jumlah susunan, tetapi nilai dari defleksi maksimum yang tercapai relatif sama dan berdekatan.



Gambar 5.24 Grafik Beban-Defleksi Pengujian Unit Dinding Pasangan Batako-Kait Pembebanan *In Plane* Susunan 2 Lapisan dengan Tipe Siar Tegak Segaris



Gambar 5.25 Grafik Beban-Defleksi Pengujian Unit Dinding Pasangan Batako Kait Pembebanan *In Plane* Susunan 2 Lapisan dengan Tipe Siar Tegak Tidak Segaris



Gambar 5.26 Grafik Beban-Defleksi Pengujian Unit Dinding Pasangan Batako Kait Pembebanan *In Plane* Susunan 3 Lapisan dengan Tipe Siar Tegak Tidak Segaris

2. Pembebanan tegak lurus bidang dinding (*out of plane*)

Pada pengujian unit dinding pasangan batako-kait dengan pembebanan tegak lurus bidang dinding (*out of plane*) terdapat 2 macam tipe siar yaitu siar tegak segaris dan siar tegak tidak segaris. Perbedaan tipe siar dalam penyusunan batako-kait sebagai dinding pasangan adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dalam hal kekuatan dalam menahan tegangan lentur dan geser dengan perbedaan tipe siar tersebut. Dari hasil pengujian unit pasangan dinding batako-kait dengan pembebanan tegak lurus bidang dinding atau pengujian *interlocking out of plane* untuk jenis siar tegak segaris diperoleh kuat lentur rerata dari 3 benda uji I2SO sebesar 0,865 MPa dan kuat geser sebesar 0,073 MPa dengan defleksi vertikal terbesar 48,974 mm pada akhir pembebanan. Untuk tipe siar tegak tidak segaris dengan benda uji I2TO diperoleh kuat lentur sebesar 1,844 MPa dan kuat geser sebesar 0,157 MPa dengan defleksi vertikal terbesar 55,294 mm pada akhir pembebanan serta untuk benda uji I3TO diperoleh kuat lentur sebesar 2,281 MPa dan kuat geser sebesar 0,179 MPa dengan defleksi vertikal terbesar 48,912 mm pada akhir pembebanan. Dari hasil yang telah diperoleh tersebut dapat dilihat bahwa terdapat sedikit perbedaan kekuatan untuk unit dinding pasangan susunan 2

lapis yaitu antara benda uji I2SO dan I2TO. Dengan menggunakan tipe siar tegak tidak segaris, unit dinding pasangan batako-kait mengalami peningkatan kuat lentur sebesar 113,18% dan kuat geser sebesar 114,1% dari unit pasangan dinding menggunakan tipe siar tegak segaris untuk pembebanan *out of plane*. Dapat disimpulkan bahwa tipe siar tegak tidak segaris lebih efektif digunakan karena memiliki kekuatan dan kontribusi yang lebih, dalam menahan beban *out of plane* yang terjadi ketika menerima beban akibat gempa yang lebih besar dibandingkan dengan tipe siar tegak segaris. Untuk hasil dari pengujian unit dinding pasangan dengan tipe siar yang sama yaitu siar tegak tidak segaris dengan benda uji I2TO dan benda uji I3TO terdapat perbedaan kekuatan. Perbedaan tersebut disebabkan oleh jumlah susunan yang berbeda. Unit dinding pasangan susunan 3 lapisan mengalami peningkatan kuat lentur sebesar 23,70% dan kuat geser sebesar 15,79% dari unit dinding pasangan susunan 2 lapisan. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan tipe siar yang sama, jumlah susunan berpengaruh terhadap kekuatan dinding pasangan itu sendiri.

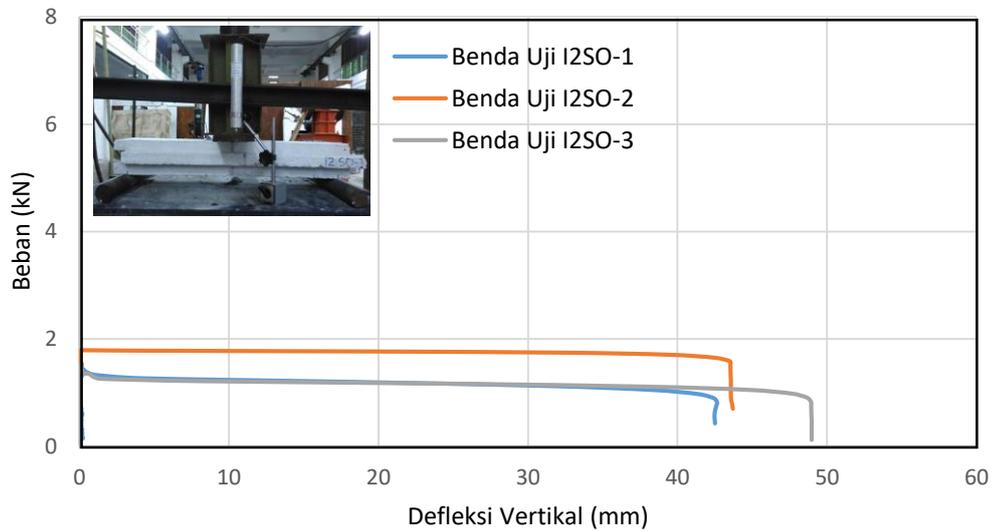
Pada semua pengujian tampak kerusakan yang terjadi akibat kegagalan lentur. Kerusakan yang terjadi terletak pada tengah bentang seperti tampak pada Gambar 5.27 berikut.



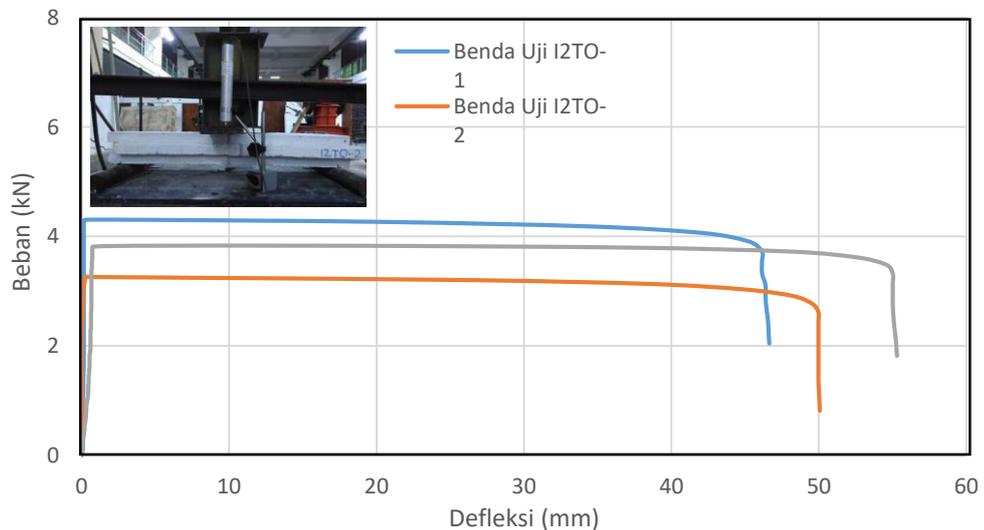
Gambar 5.27 Kerusakan Pada Pengujian Pembebanan Tegak Lurus Bidang Dinding (*out of plane*)

Kerusakan tersebut timbul karena tegangan lentur yang terjadi jauh lebih besar dari tegangan gesernya. Kerusakan pada bagian kait (*interlocking*) terjadi pada susunan dengan siar segaris maupun tidak segaris. Namun, perbedaan tipe siar yang berpengaruh pada sambungan pada kait antar batako memberikan hasil yang berbeda.

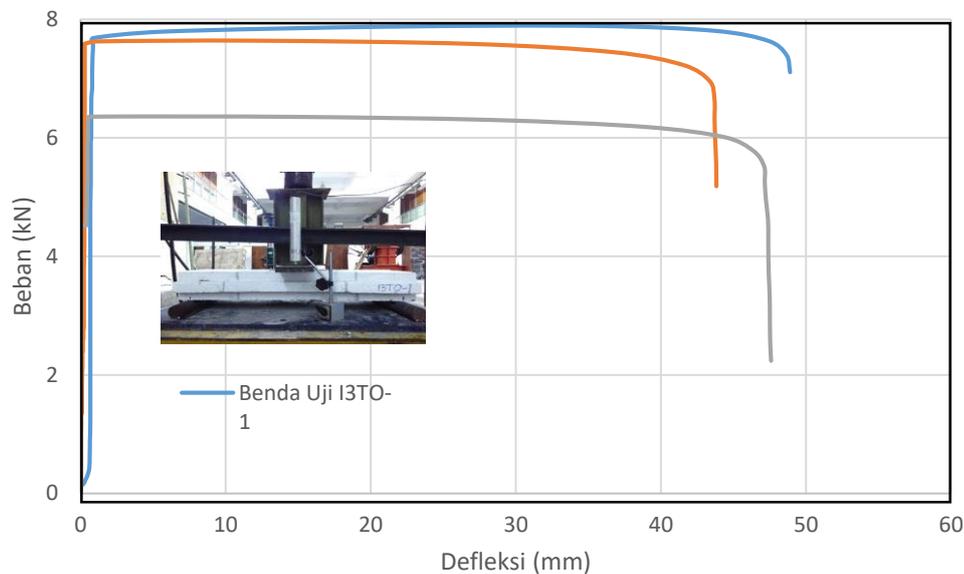
Dari hasil pengujian unit dinding pasangan batako-kait dengan pembebanan searah bidang dinding diperoleh grafik hubungan beban-defleksi seperti pada Gambar 5.28-5.30 berikut.



Gambar 5.28 Grafik Beban-Defleksi Pengujian Unit Dinding Pasangan Batako-Kait Pembebanan *Out Of Plane* Susunan 2 Lapisan dengan Tipe Siar Tegak Segaris



Gambar 5.29 Grafik Beban-Defleksi Pengujian Unit Dinding Pasangan Batako-Kait Pembebanan *Out of Plane* Susunan 2 Lapisan dengan Tipe Siar Tegak Tidak Segaris



Gambar 5.30 Grafik Beban-Defleksi Pengujian Unit Dinding Pasangan Batako-Kait Pembebanan *Out of Plane* Susunan 3 Lapisan dengan Tipe Siar Tidak Segaris

Berdasarkan grafik hubungan beban-defleksi untuk pembebanan tegak lurus bidang dinding (*out of plane*) untuk semua benda uji mengalami pola karakteristik yang sama dalam menahan beban *out of plane*, baik untuk benda uji 2 lapisan dengan siar tegak segaris (I2SO) dan siar tidak segaris (I2TO) serta untuk benda uji 3 lapisan dengan siar tegak tidak segaris (I3TO). Terdapat perbedaan pada beban maksimum yang dapat dicapai pada masing-masing pengujian. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh perbedaan tipe siar dan jumlah susunan, namun dari semua pengujian didapatkan nilai defleksi yang relatif sama dan memiliki tren yang berdekatan.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa dalam pembebanan *in plane* maupun *out of plane*, dengan menggunakan siar tegak tidak segaris, kekuatan yang dimiliki oleh unit dinding pasangan batako-kait jauh lebih besar dari unit dinding pasangan batako-kait yang menggunakan siar tegak segaris. Dengan kata lain, siar tegak tidak segaris memiliki kekuatan *interlocking* yang lebih besar dan lebih efektif untuk unit dinding pasangan batako-kait dan lebih kuat dalam peranannya menahan beban pada saat terjadinya gempa bumi.