

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Penelitian ini termasuk penelitian yang masih langka dilakukan, oleh karena itu penelitian dilakukan dengan metode eksperimen yang berlokasi di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik milik program studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini dikerjakan dengan tujuan untuk memperoleh data dari hasil pengujian benda uji. Tahapan demi tahapan dilewati hingga akhirnya penelitian ini selesai. Untuk memudahkan pembacaan data dari hasil analisis pengujian, data yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel, grafik, ataupun diagram. Setelah itu dapat ditarik kesimpulan dari penelitian ini.

5.2 Hasil Penelitian Agregat Halus

5.2.1 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

Agregat halus merupakan salah satu bahan utama dalam proses pembuatan batako, mortar, dan beton. Oleh karena itu pemeriksaan karakteristik agregat halus sangat penting dilakukan dalam penelitian ini. Setelah pemeriksaan tersebut dilakukan, maka diperoleh data yang merepresentasikan jenis agregat halus. Hal ini berpengaruh terhadap hasil pengujian kuat geser diagonal dan kuat desak. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air merupakan salah satu pengujian yang dilakukan untuk memeriksa *properties* agregat halus. Pemeriksaan berat jenis ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan relatif pada massa jenis suatu zat dengan massa jenis air murni. Sedangkan pemeriksaan penyerapan air bertujuan untuk mengetahui kemampuan agregat dalam menyerap air. Data hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air disajikan dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

No	Uraian	Berat	Satuan
1	Berat pasir kering muka (Bk)	483	gr
2	Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	500	gr
3	Berat piknometer berisi air dan pasir (Bt)	1128,50	gr
4	Berat piknometer berisi air (B)	818,50	gr
5	Berat jenis curah	2,54	-
	$Bk/(B+500-Bt)$		
6	Berat jenis jenuh kering muka	2,63	-
	$500/(B+500-Bt)$		
7	Berat jenis semu	2,79	-
	$Bk/(B+Bk-Bt)$		
8	Penyerapan Air (%)	3,52	%
	$((500-Bk)/Bk) \times 100\%$		

Hasil pemeriksaan dalam Tabel 5.1 memperlihatkan bahwa berat jenis pada agregat halus progo berkisar antara 2,54-2,79 yang berarti termasuk dalam jenis agregat normal. Agregat normal adalah agregat yang berat jenisnya antara 2,5-2,7. Sedangkan hasil pemeriksaan penyerapan air yaitu sebesar 3,52 %. Persyaratan pada agregat normal kemampuan menyerap airnya hanya sekitar 1 sampai 2 persen saja (Tjokrodinuljo, 1992). Hasil dari pengujian di atas menunjukkan agregat halus yang berasal dari Sungai Progo memenuhi syarat dalam pembuatan beton, tetapi untuk daya serap air cukup besar, sehingga memerlukan penambahan air ketika proses *mixing* atau pencampuran beton.

5.2.2 Pemeriksaan Berat Isi Gembur

Pemeriksaan berat isi gembur dilakukan untuk mengetahui perbandingan berat antara agregat dengan volumenya tanpa mengalami pemadatan. Tabel 5.2 berikut memperlihatkan hasil pengujian berat isi gembur agregat halus.

Tabel 5.2 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Gembur Agregat Halus

No	Uraian	Berat	Satuan
1	Berat tabung (W1)	10600,00	gr
2	Berat tabung + agregat kondisi jenuh (W2)	17600,00	gr
3	Berat agregat pasir (W3)	7000,00	gr
4	Diameter silinder (d)	15,13	cm
5	Tinggi silinder (t)	30,35	cm
6	Volume tabung (V) $1/4 \times \pi \times d^2 \times t$	5450,28	cm ³
7	Berat isi gembur (W3/V)	1,28	gr/cm ³

Hasil perhitungan pada Tabel 5.2 menunjukkan nilai berat isi gembur sebesar 1,28 gr/cm³. Syarat untuk berat satuan agregat adalah 1,20 sampai 1,60 (Tjokrodinuljo, 1992). Hal ini menunjukkan agregat halus yang berasal dari sungai progo ini masuk dalam spesifikasi persyaratan agregat.

5.2.3 Pemeriksaan Berat Isi Padat

Pemeriksaan berat isi padat dilakukan untuk mengetahui perbandingan berat antara agregat dengan volumenya dengan mengalami pemadatan. Hasil pengujian berat isi padat agregat halus secara rinci dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Padat Agregat Halus

No	Uraian	Berat	Satuan
1	Berat tabung (W1)	12555,00	gr
2	Berat tabung + agregat kondisi jenuh (W2)	21200,00	gr
3	Berat agregat pasir (W3)	8645,00	gr
4	Diameter silinder (d)	15,13	cm
5	Tinggi silinder (t)	30,35	cm
6	Volume tabung (V) $1/4 \times \pi \times d^2 \times t$	5450,28	cm ³
7	Berat isi padat (W3/V)	1,59	gr/cm ³

Hasil pemeriksaan yang dilakukan terhadap agregat halus dari Kulon Progo, didapatkan nilai sebesar 1,59 gr/cm³.

5.2.4 Pemeriksaan Modulus Halus Butir

Modulus Halus Butir adalah sebuah nilai yang dipakai untuk mengetahui ukuran kekasaran atau kehalusan butir agregat. Semakin besar nilai modulus halus butir sebuah agregat, maka semakin besar pula ukuran butir-butir agregat tersebut. Data Modulus Halus Butir (MHB) agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Pemeriksaan Modulus Halus Butir Agregat Halus

Lubang Ayakan	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal Kumulatif	Persentase Lolos Kumulatif
(mm)	(gram)	(%)	(%)	(%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	64	3,166	3,166	96,834
2,4	113	5,590	8,756	91,244
1,20	272	13,455	22,211	77,789
0,60	555	27,455	49,666	50,334
0,30	586	28,988	78,654	21,346
0,15	347	17,165	95,820	4,180
Sisa	84,5	4,180	100,000	0
Jumlah	2021,5	100	358,274	

Data yang terdapat pada Tabel 5.4 dapat digunakan untuk menghitung nilai modulus halus butir (MHB) pasir dalam penelitian ini. Berikut adalah perhitungan nilai modulus halus butir.

$$\text{Modulus halus butir} = \frac{\text{Berat tertinggal komulatif}}{100} \quad (5.1)$$

$$= \frac{358,273}{100} = 3,583 \%$$

Hasil perhitungan memperlihatkan, nilai hasil modulus halus butir pasir sebesar 3,583 %. Hasil tersebut dapat dijadikan acuan dalam menentukan daerah gradasi pasir dan dapat diklasifikasikan bahwa agregat halus yang digunakan masuk dalam kategori pasir tertentu yang telah disyaratkan.

Ketentuan daerah gradasi pasir berdasarkan persentase berat butir agregat yang lolos ayakan dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Gradasi Pasir Menurut British Standard

Lubang Ayakan (mm)	Persentase Berat Butir yang Lewat Ayakan							
	Daerah I		Daerah II		Daerah III		Daerah IV	
	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas
10	100	100	100	100	100	100	100	100
4,8	90	100	90	100	90	100	95	100
2,4	60	95	75	100	85	100	95	100
1,2	30	70	55	100	75	100	90	100
0,6	15	34	35	59	60	79	80	100
0,3	5	20	8	30	12	40	15	50
0,15	0	10	0	10	0	10	0	15

Keterangan:

Daerah I = pasir kasar,

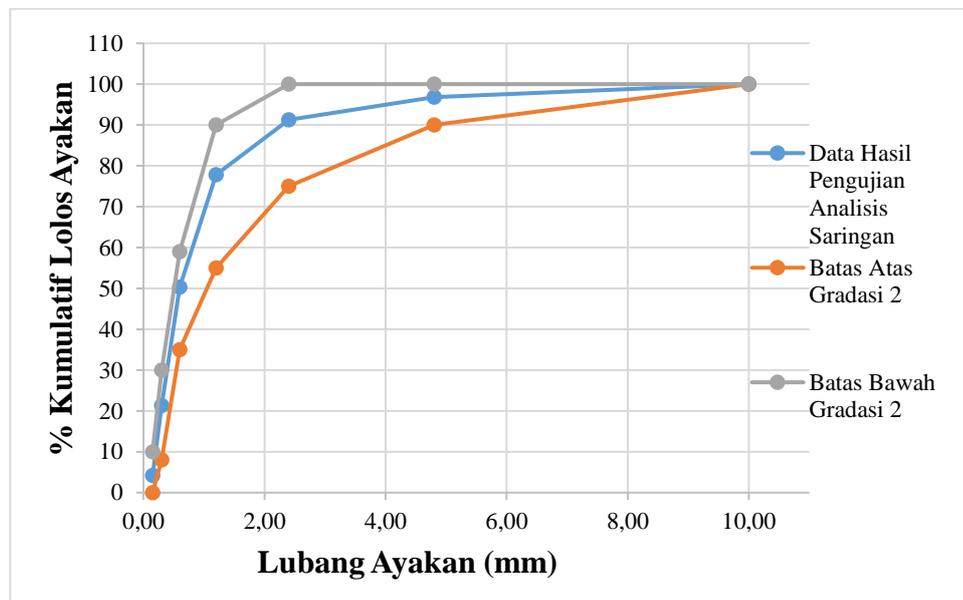
Daerah II = pasir agak kasar,

Daerah III = pasir halus,

Daerah IV = pasir agak halus.

Hasil pemeriksaan modulus halus butir agregat halus untuk menentukan pasir yang telah diperiksa masuk pada daerah gradasi tertentu. Gradasi pasir dapat mempresentasikan jenis pasir yang digunakan.

Hasil pemeriksaan pada modulus halus butir kemudian diplot pada daerah gradasi pasir yang tertera pada Tabel 5.5. Berdasarkan cara tersebut diperoleh bahwa pasir yang digunakan tergolong ke dalam daerah gradasi 2 (dua). Pasir yang masuk dalam gradasi dua merupakan kategori pasir agak kasar. Grafik gradasi pasir ditunjukkan pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

5.2.5 Pemeriksaan Kadar Lumpur

Pemeriksaan kadar lumpur bertujuan untuk menentukan persentase kandungan lumpur dalam pasir sebagai syarat untuk bahan konstruksi. Hasil pemeriksaan kadar lumpur pasir dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur

Uraian	Berat	Satuan
Berat agregat kering oven (W1)	500	gr
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2)	493,5	gr
Berat agregat yang lolos saringan No.200	1,3	%

Menurut Buku Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia 1982 (PUBI-1982). Berat bagian yang lolos ayakan No.200 (0,063 mm) adalah:

- a. untuk pasir maksimum 5 %, dan
- b. untuk kerikil maksimum 1 %.

Hasil pemeriksaan kadar lumpur pada Tabel 5.6 menunjukkan bahwa kandungan kadar lumpur yang ada dalam pasir dari Kulon Progo masih sesuai syarat yaitu 1,3% yang lebih kecil dari 5%.

5.2.6 Pemeriksaan Air

Pemeriksaan air yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan dengan cara visual saja dengan mata. Menurut Kardiyono Tjokrodimoeljo, air yang baik untuk pembuatan beton sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut.

- a. Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
- b. Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton seperti asam dan zat organik lebih dari 15 gram/liter.
- c. Tidak mengantung khlorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
- d. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

Hasil pengujian *properties* agregat halus yang diperoleh dari laboratorium secara rinci ditampilkan dalam formulir pada Lampiran 8.

5.3 Hasil Penelitian Agregat Kasar

5.3.1 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan bahan pengisi kurang lebih 70% dari volume beton, selain itu agregat kasar juga memberikan stabilitas volume dan keawetan, serta memberikan kekuatan pada bahan beton. Oleh karena itu perlu dilakukan pemeriksaan agregat kasar. Data hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air disajikan dalam Tabel 5.7

Tabel 5.7 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

No	Uraian	Berat	Satuan
1	Berat kerikil kering mutlak (Bk)	4842,50	gram
2	Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (Bj)	5000	gram
3	Berat kerikil dalam air (Ba)	3132	gram
4	Berat jenis curah	2,59	-
	$Bk / (Bj - Ba)$		
5	Berat jenis jenuh kering muka	2,68	-
	$Bj / (Bj - Ba)$		
6	Berat jenis semu	2,83	-
	$Bk / (Bk - Ba)$		
7	Penyerapan Air	3,25	(%)
	$((Bj - Bk) / Bk) \times 100\%$		

Hasil pemeriksaan dalam Tabel 5.7 memperlihatkan bahwa berat jenis agregat kasar dari Sungai Progo berkisar antara 2,59-2,83 gr/cm³ yang berarti termasuk dalam jenis agregat normal. Agregat normal adalah agregat yang berat jenisnya antara 2,5-2,7 gram/cm³. Sedangkan, hasil pemeriksaan penyerapan air yaitu sebesar 3,25%. Persyaratan pada agregat normal kemampuan menyerap air nya hanya sekitar 1 sampai 2 % saja (Tjokrodimuljo, 1992). Hasil dari pengujian agregat kasar yang berasal dari Sungai Progo memenuhi syarat dalam pembuatan beton, tetapi untuk daya serap air agregat kasar yang berasal dari daerah Kulon Progo menunjukkan hasil yang besar, sehingga memerlukan penambahan air ketika proses *mixing* atau pencampuran beton.

5.3.2 Pemeriksaan Berat Isi Gembur

Pemeriksaan berat isi gembur dilakukan untuk mengetahui perbandingan berat antara agregat dengan volumenya tanpa mengalami pemadatan. Hasil pengujian berat isi gembur agregat kasar disusun pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Gembur Agregat Kasar

No	Uraian	Berat	Satuan
1	Berat tabung (W1)	11200,00	gr
2	Berat tabung + agregat kondisi jenuh (W2)	18050,00	gr
3	Berat agregat pasir (W3)	6850,00	gr
4	Diameter silinder (d)	15,10	cm
5	Tinggi silinder (t)	30,25	cm
6	Volume tabung (V) $1/4 \times \pi \times d^2 \times t$	5413,49	cm ³
7	Berat isi gembur (W3/V)	1,27	gr/cm ³

Hasil perhitungan pada Tabel 5.8 menunjukkan nilai berat isi gembur sebesar 1,27 gr/cm³. Syarat untuk berat satuan agregat adalah 1,20 sampai 1,60 (Tjokrodimuljo, 1992). Hal ini menunjukkan agregat kasar yang berasal dari daerah Kulon Progo ini masuk dalam spesifikasi persyaratan agregat.

5.3.3 Pemeriksaan Berat Isi Padat

Pemeriksaan berat isi padat dilakukan untuk mengetahui perbandingan berat antara agregat dengan volumenya dengan mengalami pemadatan. Hasil pengujian berat isi padat agregat kasar secara rinci dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Padat Agregat Kasar

No	Uraian	Berat	Satuan
1	Berat tabung (W1)	11200,00	gr
2	Berat tabung + agregat kondisi jenuh (W2)	19350,00	gr
3	Berat agregat pasir (W3)	8150,00	gr
4	Diameter silinder (d)	15,10	cm
5	Tinggi silinder (t)	30,25	cm
6	Volume tabung (V) $1/4 \times \pi \times d^2 \times t$	5413,49	cm ³
7	Berat isi gembur (W3/V)	1,51	gr/cm ³

Hasil pemeriksaan yang dilakukan terhadap agregat kasar dari yang berasal dari daerah Kulon Progo, didapatkan nilai sebesar 1,51 gr/cm³.

5.3.4 Pemeriksaan Modulus Halus Butir

Data hasil pengujian Modulus Halus Butir (MHB) agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.10. Sesuai dengan data pada Tabel 5.10 dapat dihitung besar nilai modulus halus butir (MHB) pasir yang digunakan dalam penelitian ini. Persamaan 5.1 merupakan perhitungan nilai modulus halus butir.

$$\text{Modulus halus butir} = \frac{\text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \quad (5.1)$$

$$= \frac{733,136}{100} = 7,331 \%$$

Tabel 5.10 Hasil Pemeriksaan Modulus Halus Butir Agregat Kasar

Lubang Ayakan	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal Kumulatif	Persentase Lolos Kumulatif
(mm)	(gram)	(%)	(%)	(%)
40,00	0	0	0	100
20,00	2385	50,50	50,50	49,50
10,00	1803	38,17	88,67	11,33
4,80	394	8,34	97,01	2,99
2,4	56	1,19	98,20	1,80
1,20	26	0,55	98,75	1,25
0,60	59	1,25	100	0,00
0,30	0	0	100	0,00
0,15	0	0	100	0,00
Sisa	0	0	0	0,00
Jumlah	4723	100	733,136	

Hasil perhitungan tersebut diperoleh nilai modulus halus butir kerikil sebesar 7,331 %. Hasil pemeriksaan dapat dijadikan acuan dalam menentukan daerah gradasi kerikil dan dapat diklasifikasikan bahwa agregat kasar yang digunakan masuk dalam kategori kerikil tertentu yang telah disyaratkan.

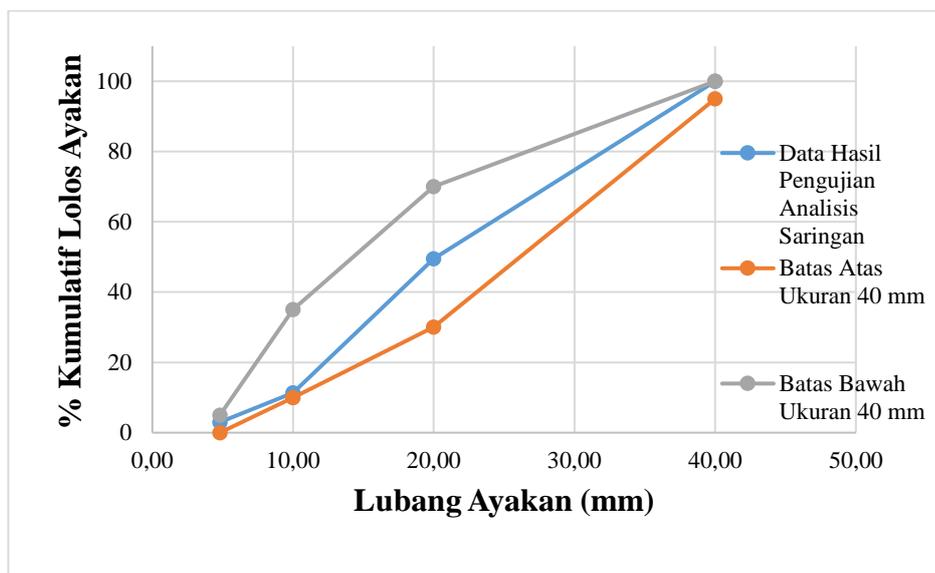
Ketentuan daerah gradasi kerikil tergantung dari persentase berat butir agregat yang lolos ayakan yaitu dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Gradasi Kerikil Menurut British Standard

Lubang Ayakan (mm)	Persentase Berat Butir yang Lewat Ayakan					
	40 mm		20 mm		12,5 mm	
	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas
40	95	100	100	100	100	100
20	30	70	95	100	100	100
12,5	-	-	-	-	90	100
10	10	35	25	55	40	85
4,8	0	5	0	10	0	10

Hasil dari pemeriksaan modulus halus butir agregat kasar untuk menentukan kerikil yang telah diperiksa masuk pada daerah gradasi tertentu. Gradasi kerikil dapat menunjukkan jenis kerikil yang digunakan.

Hasil pemeriksaan pada modulus halus butir kemudian diplot pada daerah gradasi kerikil yang tertera pada Tabel 5.11. Cara tersebut menunjukkan bahwa kerikil yang digunakan memiliki ukuran butiran maksimum 40 mm. Grafik hasil pengujian analisis saringan agregat kasar ditunjukkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

5.3.5 Pemeriksaan Kadar Lumpur

Pemeriksaan kadar lumpur bertujuan untuk menentukan persentase kandungan lumpur dalam kerikil sebagai syarat untuk bahan konstruksi. Hasil pemeriksaan kadar lumpur kerikil dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur

Uraian	Berat	Satuan
Berat agregat kering oven (W1)	2000	gr
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2)	1985	gr
Berat agregat yang lolos saringan No.200	0,75	%

Hasil pemeriksaan kadar lumpur pada Tabel 5.12 menampilkan bahwa kandungan kadar lumpur yang ada dalam kerikil dari daerah Kulon Progo masih sesuai syarat yaitu 0,75% yang lebih kecil dari 1%. Hasil pengujian *properties* agregat kasar yang diperoleh dari laboratorium secara rinci ditampilkan dalam formulir pada Lampiran 9.

5.4 Perhitungan Kebutuhan Bahan

Perhitungan kebutuhan bahan digunakan untuk mengetahui jumlah bahan yang diperlukan dalam membuat benda uji agar dalam pengadaan bahan tidak berlebihan. Untuk memudahkan perhitungan, maka perbandingan volume diubah

ke dalam perbandingan berat. Berikut adalah contoh perhitungan kebutuhan semen dan pasir untuk membuat satu sampel mortar dengan perbandingan 1 PC : 4 PS.

$$\text{Berat volume pasir} = 1590 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Berat volume semen} = 40 \text{ kg}/0,0192 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat volume kaca} = 2500 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Panjang benda uji} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Lebar benda uji} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi benda uji} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{FAS} = 0,5$$

Perhitungan kebutuhan semen dan pasir satu benda uji yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Semen yang dibutuhkan} &= \left(\frac{1}{5} \times \text{berat volume} \times \text{volume benda uji} \right) \\ &= \left(\frac{1}{5} \times 40 \text{ kg}/0,0192 \text{ m}^3 \times 1,25 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \right) \\ &= 0,052 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pasir yang dibutuhkan} &= \left(\frac{3,8}{5} \times \text{berat volume} \times \text{volume benda uji} \right) \\ &= \left(\frac{3,8}{5} \times 1590 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 1,25 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \right) \\ &= 0,151 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Serbuk kaca yang dibutuhkan} &= \left(\frac{0,2}{5} \times \text{berat volume} \times \text{volume benda uji} \right) \\ &= \left(\frac{0,2}{5} \times 2400 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 1,25 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \right) \\ &= 0,012 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Air yang dibutuhkan} &= \text{FAS} \times \text{semen yang dibutuhkan} \\ &= 0,5 \times 0,052 \text{ kg} \\ &= 0,026 \text{ kg} \end{aligned}$$

Nilai berat volume pasir diambil dari pengujian berat isi padat. Sedangkan nilai berat volume semen merujuk pada referensi internet *ilmusipil.com*. Kemudian nilai berat volume serbuk kaca merujuk pada penelitian Rahma dkk (2017). Hasil perhitungan kebutuhan bahan seluruh sampel dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Kebutuhan Material untuk Pembuatan Benda Uji

No	Jenis Pengujian	Jumlah Sampel	Kebutuhan Material				
			Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Serbuk Kaca (kg)	Batako (Buah)
1	Kuat Tekan Mortar	12	0,88	3,00	0	0,14	0
2	Kuat Tekan Silinder	6	13,02	25,16	41,93	0	0
3	Kuat Geser Diagonal Dinding Perkuatan	6	183,33	444,39	395,45	9,95	144
4	Kuat Geser Diagonal Dinding Tanpa Perkuatan	3	30,26	103,56	0	4,97	105
5	Kuat Tekan Dinding	1	1,86	6,38	0	0,31	8
	Total	28	229,35	582,48	437,38	15,37	257

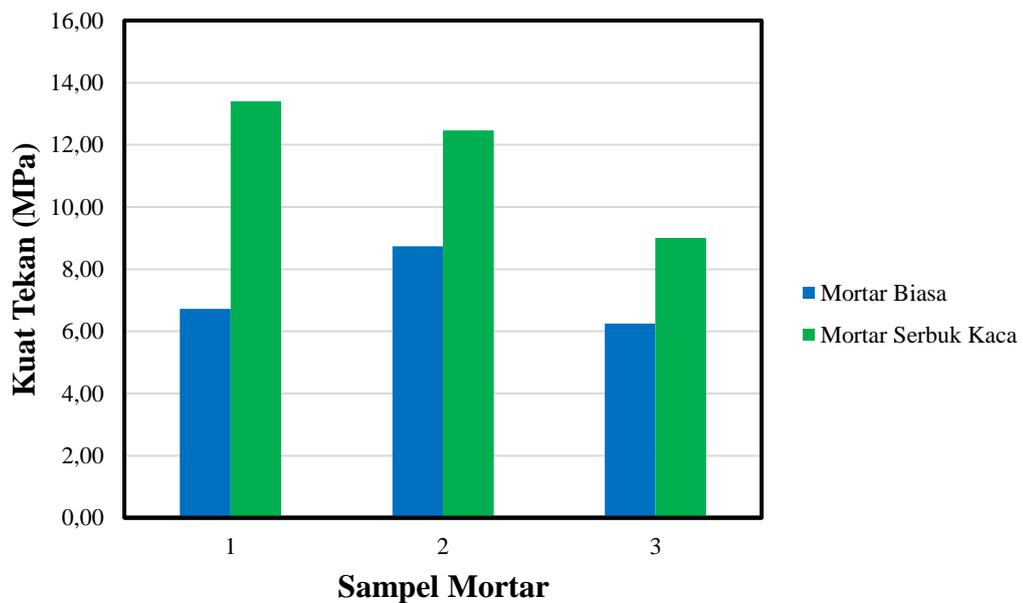
5.5 Hasil Penelitian Mortar

Mortar merupakan campuran antara air, pasir, dan semen dengan menggunakan perbandingan tertentu. Pengujian tekan mortar akan dilakukan pada sampel mortar yang digunakan untuk pasangan maupun plesteran, walaupun benda uji yang dibuat tidak menggunakan mortar plesteran. Hasil penelitian kuat tekan mortar ditunjukkan pada Tabel 5.14.

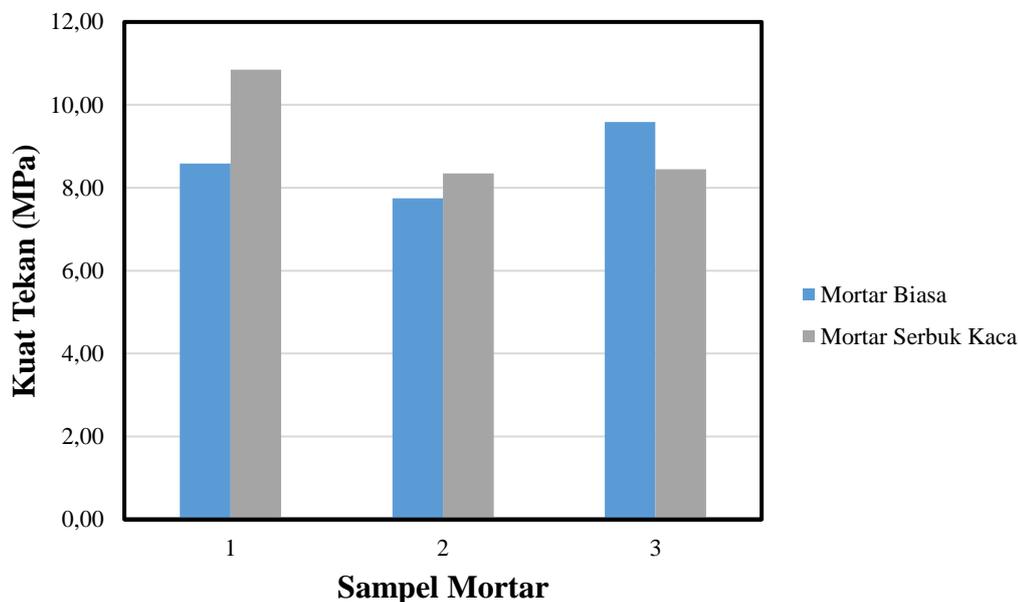
Tabel 5.14 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar pada Umur 28 Hari

No	Kode Benda Uji	Perbandingan Campuran Mortar	Luas Penampang Terdesak (mm ²)	Beban Maksimum (kgf)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
1	A01	1PC : 5PS, dengan FAS 0,75	2563,73	2245,00	8,59	8,64
2	A02		2543,52	2010,00	7,75	
3	A03		2506,67	2450,00	9,59	
4	B01	1PC : 4 PS, dengan FAS 0,5	2523,39	1730,00	6,72	7,24
5	B02		2587,42	2305,00	8,74	
6	B03		2587,42	1650,00	6,25	
7	C01	1PC : 4,75PS : 0,25SK, dengan FAS 0,75	2521,71	2790,00	10,85	9,21
8	C02		2503,33	2130,00	8,34	
9	C03		2553,62	2200,00	8,45	
10	D01	1PC : 3,8PS : 0,2SK, dengan FAS 0,5	2597,60	3550,00	13,40	11,62
11	D02		2536,80	3225,00	12,47	
12	D03		2560,36	2350,00	9,00	

Sedangkan grafik penambahan kuat tekan mortar dengan menggunakan serbuk kaca, dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan 5.4.



Gambar 5.3 Kuat Tekan Mortar dengan Perbandingan 1 PC : 4 PS dengan FAS 0,5



Gambar 5.4 Kuat Tekan Mortar dengan Perbandingan 1 PC : 5 PS dengan FAS 0,75

Hasil pengujian mortar pada umur 28 hari, didapatkan nilai kuat tekan rerata mortar 1:5 biasa yaitu sebesar 8,64 MPa, sedangkan untuk mortar 1:5 dengan variasi penambahan serbuk kaca sebesar 9,21 MPa. Kemudian setelah itu didapatkan nilai kuat tekan rerata mortar biasa 1:4 yaitu sebesar 7,24 MPa, sedangkan untuk mortar 1:4 dengan variasi penambahan serbuk kaca sebesar 11,62 MPa. Ini berarti terjadi kenaikan kuat tekan sebesar 6,59% untuk mortar dengan perbandingan 1 PC : 5 PS dan sebesar 60,64% untuk mortar dengan perbandingan 1 PC : 4 PS. Hasil pengujian kuat tekan mortar yang diperoleh dari laboratorium secara rinci ditampilkan dalam formulir pada Lampiran 7.

5.6 Hasil Penelitian Sampel *Frame* Beton

Untuk mengontrol kualitas beton yang digunakan, maka dibuat sampel beton yang digunakan untuk pengecoran *frame* dinding. Pembuatan sampel beton berbentuk silinder dengan masing-masing variasi dibuat tiga sampel. Selanjutnya penulisan *Reinforced Concrete Frame Infill Masonry* disingkat menjadi *RCFIM* dan untuk *Confined Masonry Wall* disingkat menjadi *CMW*.

5.6.1 Hasil Penelitian Sampel Silinder Beton Tipe *Reinforced Concrete Frame Infill Masonry*

Hasil pengujian kuat tekan beton ditunjukkan pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Dinding Tipe *RCFIM*

Benda Uji	Diameter (cm)			Luas Penampang (mm ²)	Tinggi (cm)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)
	D1	D2	D rerata				
1	14,96	15,23	15,10	17896,01	29,99	460	25,70
2	14,98	15,25	15,11	17937,52	30,365	500	27,87
3	15,40	15,20	15,30	18385,39	30,24	505	27,47
						kuat tekan rerata	27,02

Data tersebut memperlihatkan kuat tekan rerata sampel beton dinding tipe *reinforced concrete frame infill masonry* yaitu sebesar 27,02 MPa. Hal ini menunjukkan nilai kuat tekan yang melebihi f'_c rencana yaitu 25 MPa, sehingga memperlihatkan ketepatan desain campuran (*mix design*) dengan kuat tekan beton rencana.

5.6.2 Hasil Penelitian Sampel Silinder Beton Tipe *Confined Masonry Wall*

Hasil pengujian kuat tekan beton ditunjukkan pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Dinding Tipe *CMW*

Benda Uji	Diameter (cm)			Luas Penampang (mm ²)	Tinggi (cm)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)
	D1	D2	D rerata				
1	15,15	15,08	15,12	17943,46	30,17	500	27,87
2	15,09	15,06	15,08	17848,62	30,30	515	28,85
3	15,08	14,97	15,02	17718,61	29,95	480	27,09
						kuat tekan rerata	27,94

Data tersebut memperlihatkan kuat tekan rerata sampel beton dinding tipe *reinforced concrete frame infill masonry* yaitu sebesar 27,02 MPa. Hal ini menunjukkan nilai kuat tekan yang melebihi f'_c rencana yaitu 25 MPa, sehingga memperlihatkan ketepatan desain campuran (*mix design*) dengan kuat tekan beton rencana. Hasil pengujian kuat tekan beton yang diperoleh dari laboratorium secara rinci ditampilkan dalam formulir pada Lampiran 6.

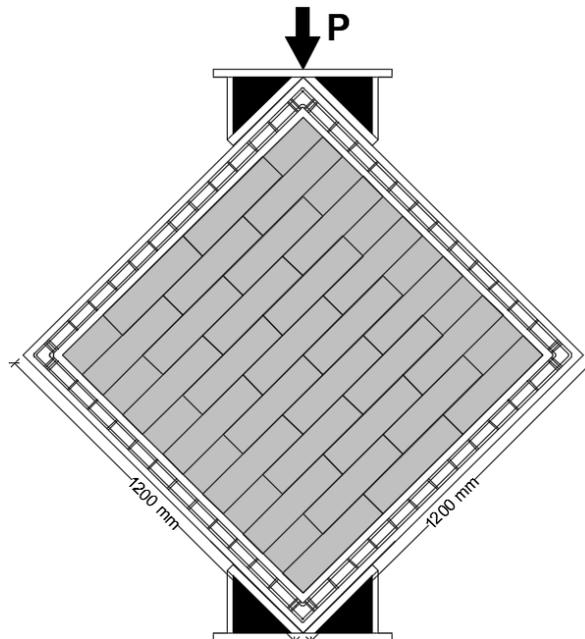
5.7 Hasil Penelitian Dinding

Pengujian kuat geser diagonal dinding dilakukan ketika benda uji berumur 28 hari. Jumlah benda uji yaitu sebanyak 9 buah berukuran 120 cm x 120 cm x 11 cm, 3 sampel dinding dengan perkuatan beton yang di buat terlebih dahulu kemudian dipasang didalamnya batako, 3 sampel dinding dengan perkuatan beton yang dipasang terlebih dahulu batako nya kemudian dicor, dan 3 sampel dinding tanpa perkuatan. Selain itu juga terdapat 1 buah sampel berukuran 50 cm x 50 cm x 11 cm untuk pengujian kuat tekan. Perbandingan campuran pasangan mortar yang digunakan untuk memasang batako pada penelitian ini adalah 1:4 dengan FAS 0,5. Pengujian kuat geser ini dilakukan untuk menentukan kuat geser maksimum dinding pasangan batako-kait dengan variasi bentuk batako, metode konstruksi, dan komposisi campuran mortar. Teknis pada saat pengujian yaitu benda uji diberikan beban sampai benda uji mencapai keruntuhannya. Hasil pengujian diperoleh 3 data, yaitu beban maksimum, lama pengujian dan juga pola keretakan. Data beban maksimum yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mendapatkan nilai kuat geser. Perhitungan kuat geser ini dilakukan berdasarkan rumus yang terdapat pada ASTM E519-02 2002.

Sub-bab 5.7 ini membahas tentang hasil pengujian dinding secara keseluruhan mulai dari tipe *reinforced concrete frame infill masonry wall*, *confined masonry wall*, dinding tanpa perkuatan, dan dinding untuk pengujian tekan, tetapi dalam sub-bab ini belum menampilkan gambar benda uji yang sudah selesai dikerjakan serta proses pengujian dinding. Adapun gambar benda uji yang sudah selesai dikerjakan beserta prosesnya dapat dilihat dalam Lampiran 4 dan 5.

5.7.1 Pengujian Dinding Tipe *Reinforced Concrete Frame Infill Masonry Wall*

Berikut adalah salah satu contoh perhitungan kuat geser dari sampel dinding pasangan batako-kait, ilustrasi pengujian sampel dinding tipe *reinforced concrete frame infill masonry wall* seperti pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Pengujian Sampel Dinding Tipe *Reinforced Concrete Frame Infill Masonry Wall*

Data benda uji sebagai berikut.

Kode benda uji : *RCFIM 1*
 Lebar (w) : 1205 mm
 Tinggi (h) : 1205 mm
 Tebal (t) : 113 mm
 Beban maksimum (P) : 76773,06 N
 Persen daerah bruto (n) : 1

Dengan data tersebut dapat dihitung nilai kuat geser dinding menggunakan Persamaan 3.4 dan 3.5.

$$\begin{aligned}
 A_n &= \frac{(w+h)}{2} \times t \times n \\
 &= \frac{(1205+1205)}{2} \times 113 \times 1 \\
 &= 136165,00 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

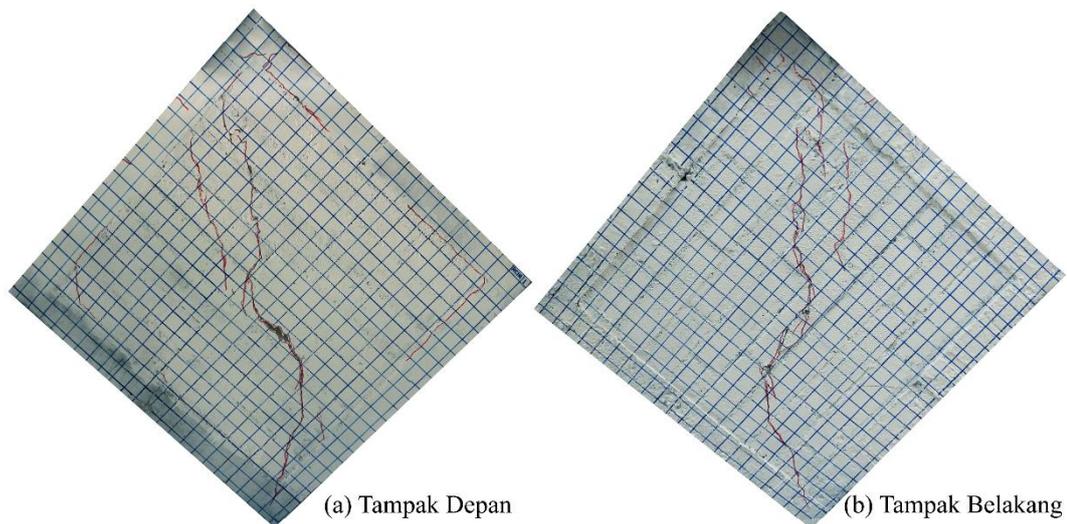
$$\begin{aligned}
 S_s &= \frac{0,707 \times P}{A_n} \\
 &= \frac{0,707 \times 76773,06}{136165,00} \\
 &= 0,399 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya data hasil perhitungan benda uji tipe *reinforced concrete frame infill masonry wall* dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Hasil Pengujian Dinding Tipe *Reinforced Concrete Frame Infill Masonry Wall*

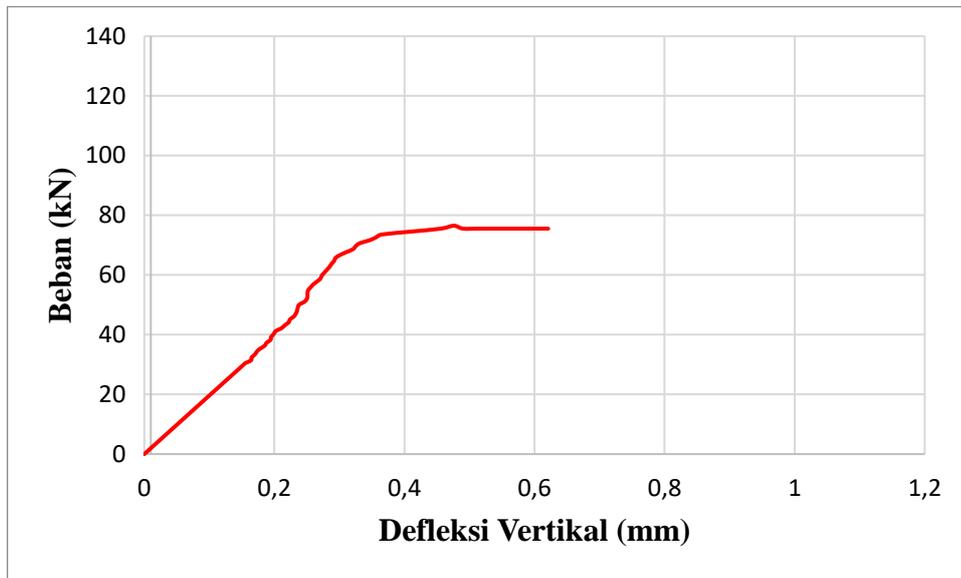
Benda Uji	Beban Maksimum (N)	Dimensi Benda Uji			An (mm ²)	Kuat Geser (MPa)	Kuat Geser Rerata (MPa)
		w (mm)	h (mm)	t (mm)			
<i>RCFIM 1</i>	76773,06	1205	1205	113	136165	0,399	0,462
<i>RCFIM 2</i>	87259,95	1210	1210	110	133100	0,464	
<i>RCFIM 3</i>	100326,87	1208	1208	112	135296	0,524	

Hasil pengujian dari 3 sampel dinding tipe *reinforced concrete frame infill masonry wall* menunjukkan nilai kuat geser diagonal optimum sebesar 0,524 MPa dengan beban optimum 100326,87 N pada benda uji tipe *RCFIM 3*, dan kuat geser diagonal rerata dari ketiga sampel tersebut adalah sebesar 0,462 MPa. Selanjutnya pola keretakan dinding tipe *RCFIM 1* setelah dilakukan pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.6.



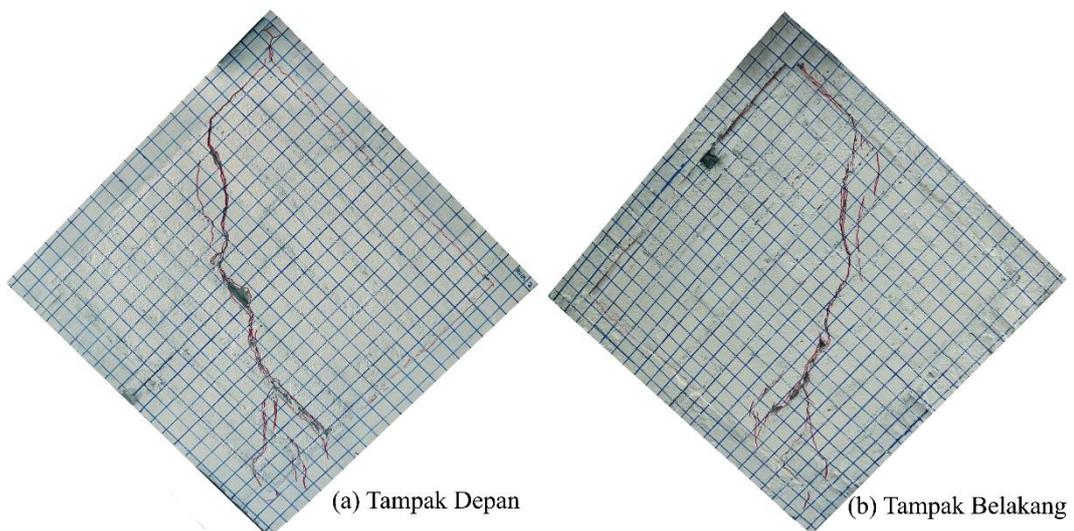
Gambar 5.6 Pola Keretakan Benda Uji Tipe *RCFIM 1*

Kurva terkoreksi hubungan antara beban terpasang dengan defleksi vertikal pada dinding tipe *RCFIM 1* ditunjukkan pada Gambar 5.7.



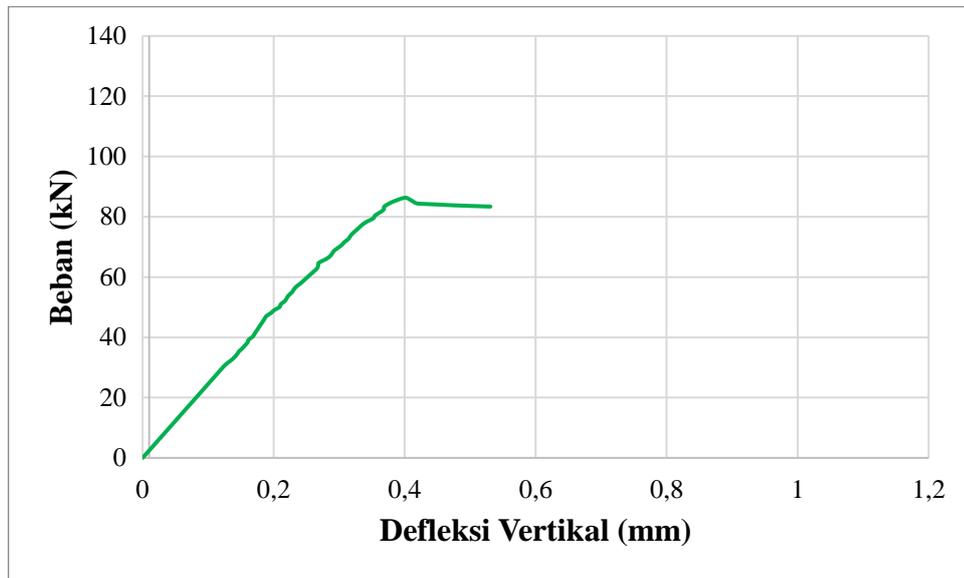
Gambar 5.7 Kurva Terkoreksi Hubungan Antara Beban Terpasang Dengan Defleksi Vertikal Pada Dinding Tipe RCFIM 1

Pola keretakan dinding tipe RCFIM 2 setelah dilakukan pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.8.



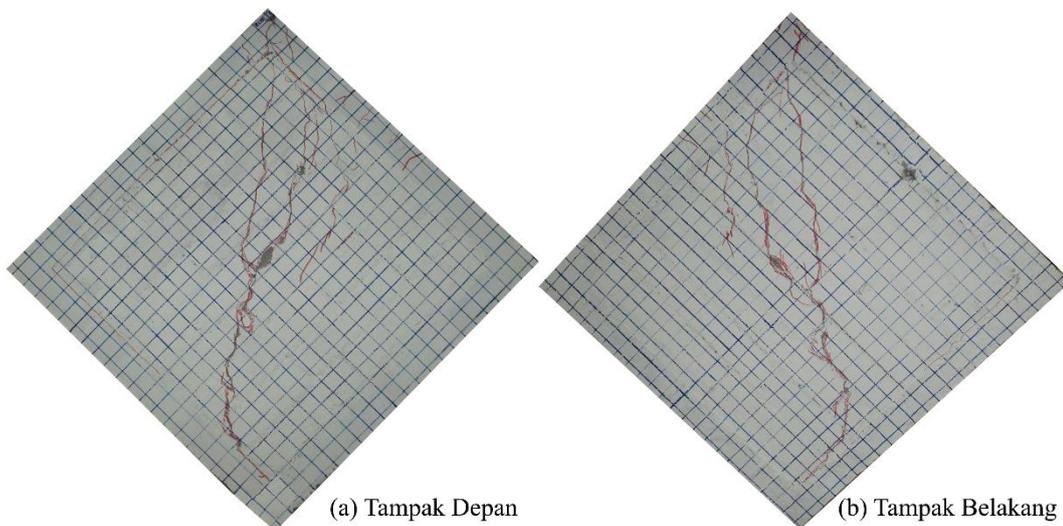
Gambar 5.8 Pola Keretakan Benda Uji Tipe RCFIM 2

Kurva terkoreksi hubungan antara beban terpasang dengan defleksi vertikal pada dinding tipe RCFIM 2 dapat dilihat pada Gambar 5.9.



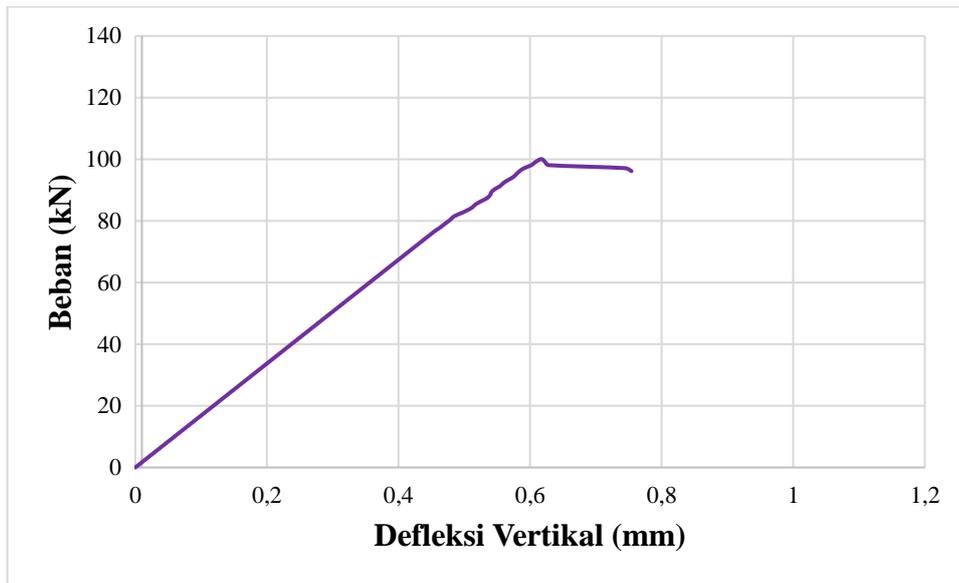
Gambar 5.9 Kurva Terkoreksi Hubungan Antara Beban Terpasang Dengan Defleksi Vertikal Pada Dinding Tipe RCFIM 2

Pola keretakan dinding tipe RCFIM 3 setelah dilakukan pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.10.



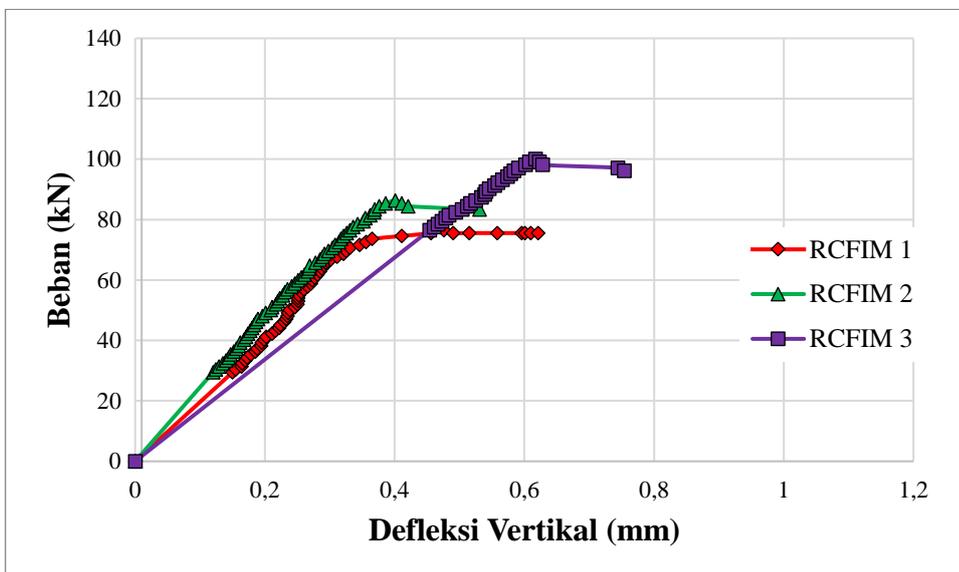
Gambar 5.10 Pola Keretakan Benda Uji Tipe RCFIM 3

Kurva terkoreksi hubungan antara beban terpasang dengan defleksi vertikal pada dinding tipe RCFIM 3 dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Kurva Terkoreksi Hubungan Antara Beban Terpasang Dengan Defleksi Vertikal Pada Dinding Tipe RCFIM 3

Perbandingan kurva terkoreksi hubungan antara beban terpasang dengan defleksi vertikal pada dinding tipe RCFIM 1, RCFIM 2, dan RCFIM 3 dapat dilihat pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Perbandingan Kurva Terkoreksi Hubungan Antara Beban Terpasang Dengan Defleksi Vertikal Pada Dinding Tipe RCFIM

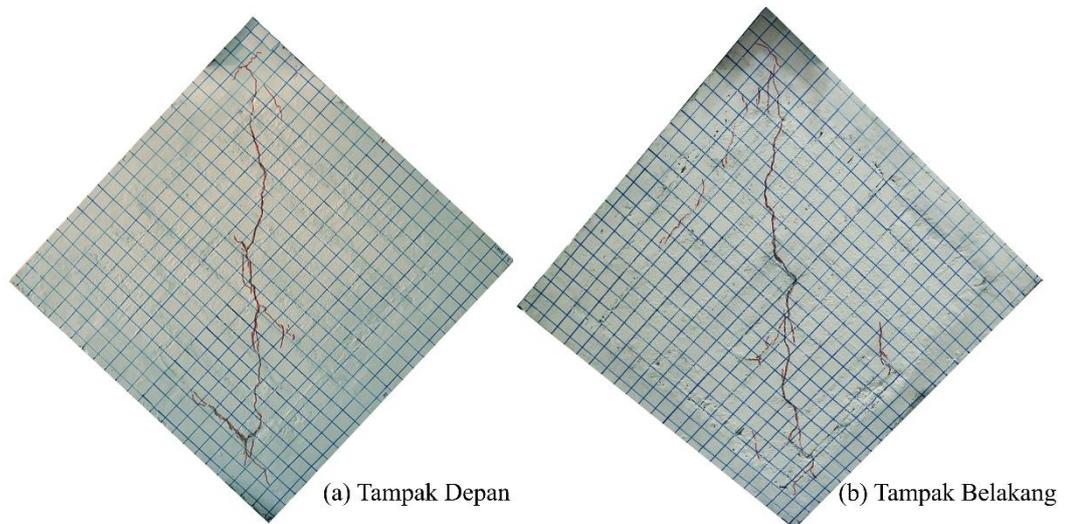
5.7.2 Pengujian Dinding Tipe *Confined Masonry Wall*

Untuk gambar ilustrasi pengujian sampel dinding tipe *confined masonry wall* sama dengan pengujian sampel dinding tipe *reinforced concrete frame infill masonry wall*. Hasil perhitungan benda uji dinding tipe *confined masonry wall* dapat dilihat pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Hasil Pengujian Dinding Tipe *Confined Masonry Wall*

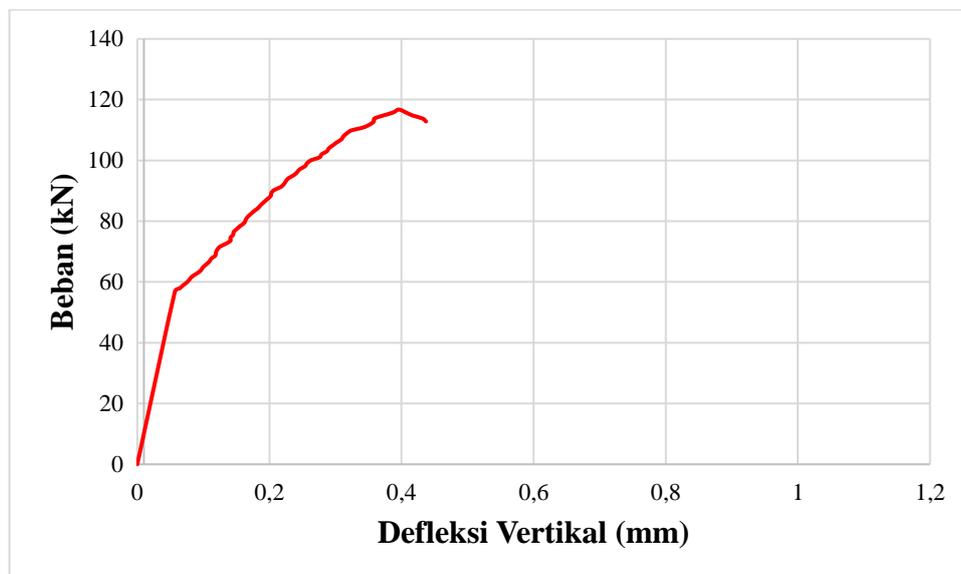
Benda Uji	Beban Maksimum (N)	Dimensi Benda Uji			An (mm ²)	Kuat Geser (MPa)	Kuat Geser Rerata (MPa)
		w (mm)	h (mm)	t (mm)			
CMW 1	117327,6	1217	1217	110	133870,00	0,620	0,607
CMW 2	130943,88	1215	1215	113	137295,00	0,674	
CMW 3	103642,65	1210	1210	115	139150,00	0,527	

Hasil pengujian dari 3 sampel dinding tipe *confined masonry wall* memperlihatkan nilai kuat geser diagonal optimum sebesar 0,674 MPa dengan beban optimum 130943,88 N pada benda uji tipe CMW 2, dan kuat geser diagonal rerata dari ketiga sampel tersebut adalah sebesar 0,607 MPa. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa kuat geser paling tinggi dalam pengujian ini terdapat pada dinding dengan perkuatan yang dibuat dengan metode *confined masonry*. Hal ini terjadi karena adanya ikatan antara batako-kait dengan beton segar ketika dilakukan pengecoran, sehingga menimbulkan efek *toothing*. Efek *toothing* merupakan efek saling menggigit atau saling mencengkram yang terjadi antara agregat kasar dengan batako-kait, inilah yang menyebabkan kuat geser dinding pasangan batako-kait metode *confined masonry wall* menjadi tinggi. Selanjutnya pola keretakan dinding tipe CMW ini merupakan tipe keretakan yang paling mendekati dengan teori ASTM E519-02-2002. Retak yang dihasilkan pada dinding tipe CMW ini yaitu retak diagonal dengan hasil spesimen terbelah sejajar arah beban. Retak semacam ini dihasilkan karena beban yang bekerja lebih dahulu tertumpu pada beton bertulang secara terpusat kemudian diteruskan ke komponen penyusun dinding yaitu batako-kait. Pola keretakan dinding tipe CMW 1 dapat dilihat pada Gambar 5.13.



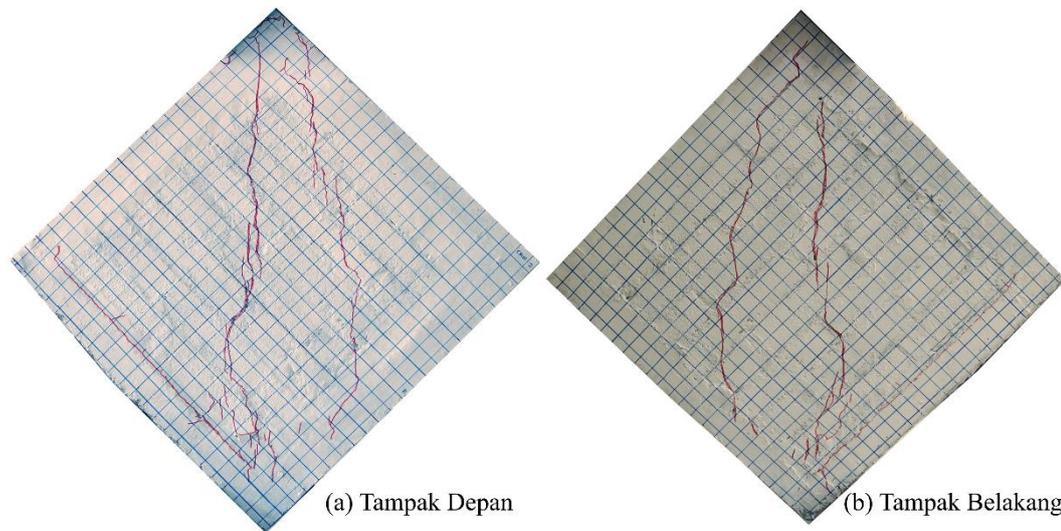
Gambar 5.13 Pola Keretakan Benda Uji Dinding Tipe CMW 1

Kurva terkoreksi hubungan antara beban terpasang dengan defleksi vertikal pada dinding tipe CMW 1 dapat dilihat pada Gambar 5.14.



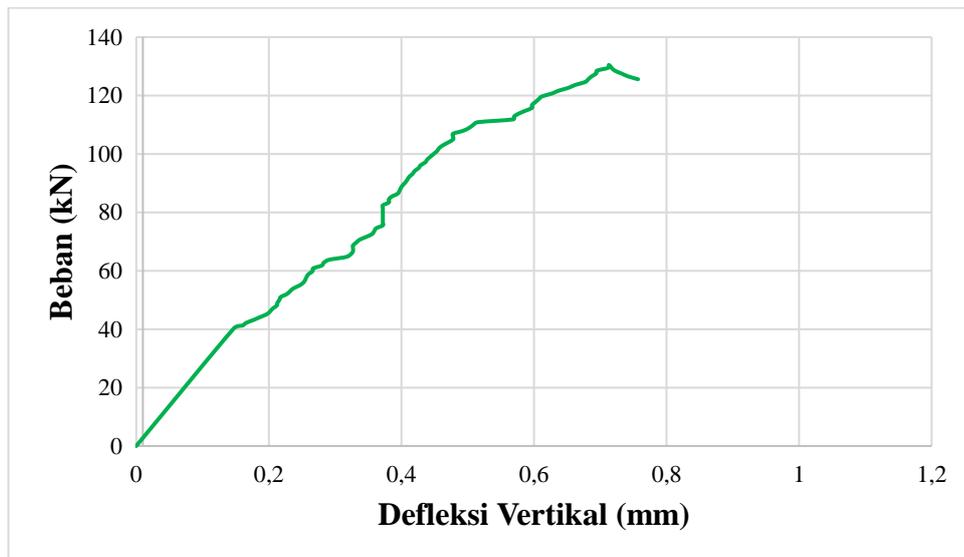
Gambar 5.14 Kurva Terkoreksi Hubungan Antara Beban Terpasang Dengan Defleksi Vertikal Pada Dinding Tipe CMW 1

Pola keretakan dinding tipe CMW 2 setelah dilakukan pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.15.



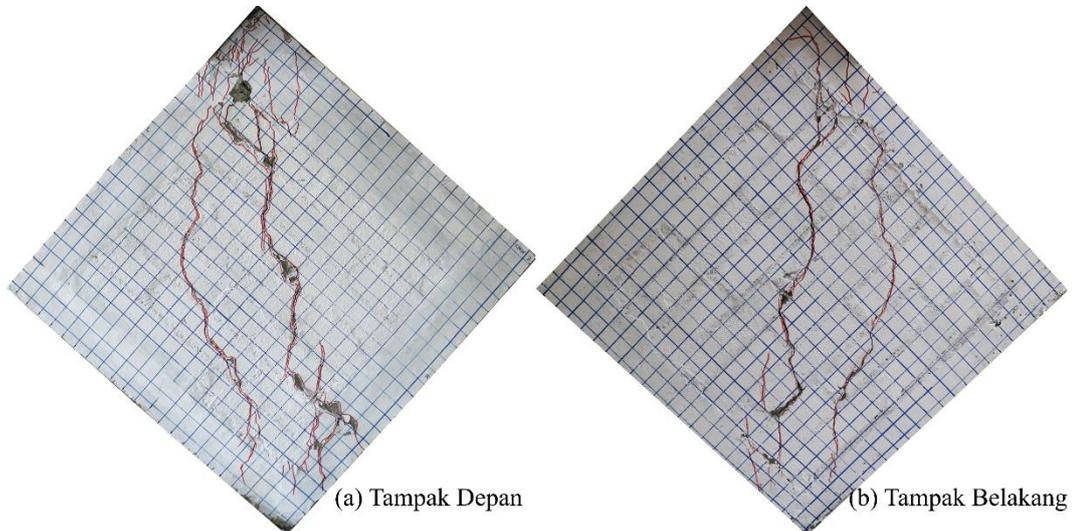
Gambar 5.15 Pola Keretakan Benda Uji Dinding Tipe CMW 2

Kurva terkoreksi hubungan antara beban terpasang dengan defleksi vertikal pada dinding tipe CMW 2 dapat dilihat pada Gambar 5.16.



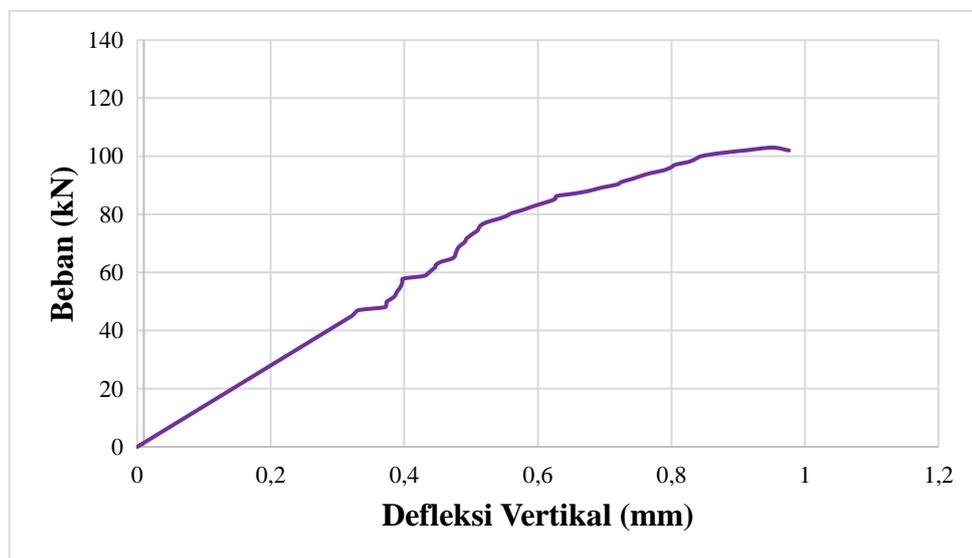
Gambar 5.16 Kurva Terkoreksi Hubungan Antara Beban Terpasang Dengan Defleksi Vertikal Pada Dinding Tipe CMW 2

Pola keretakan dinding tipe *CMW 3* setelah dilakukan pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.17.



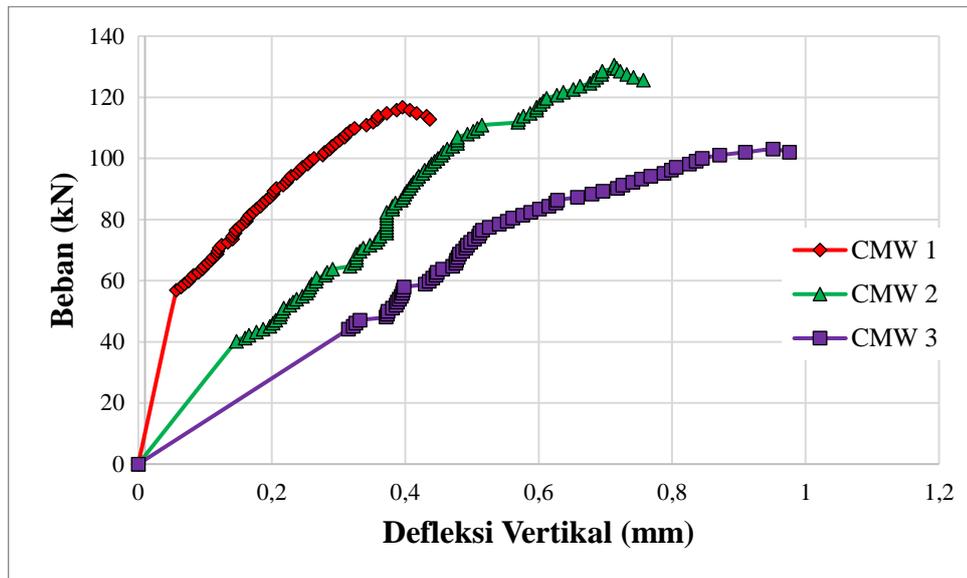
Gambar 5.17 Pola Keretakan Benda Uji Dinding Tipe *CMW 3*

Kurva terkoreksi hubungan antara beban terpasang dengan defleksi vertikal pada dinding tipe *CMW 3* dapat dilihat pada Gambar 5.18.



Gambar 5.18 Kurva Terkoreksi Hubungan Antara Beban Terpasang Dengan Defleksi Vertikal Pada Dinding Tipe *CMW 3*

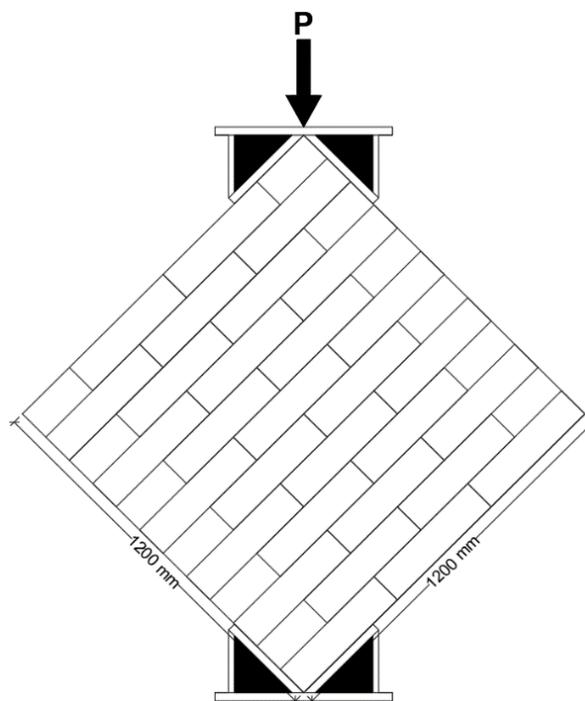
Perbandingan kurva terkoreksi hubungan antara beban terpasang dengan defleksi vertikal pada dinding tipe *CMW 1*, *CMW 2*, dan *CMW 3* dapat dilihat pada Gambar 5.19.



Gambar 5.19 Perbandingan Kurva Terkoreksi Hubungan Antara Beban Terpasang Dengan Defleksi Vertikal Pada Dinding Tipe CMW

5.7.3 Pengujian Dinding Tanpa Perkuatan

Ilustrasi pengujian sampel dinding tanpa perkuatan (tipe W) yaitu seperti Gambar 5.20.



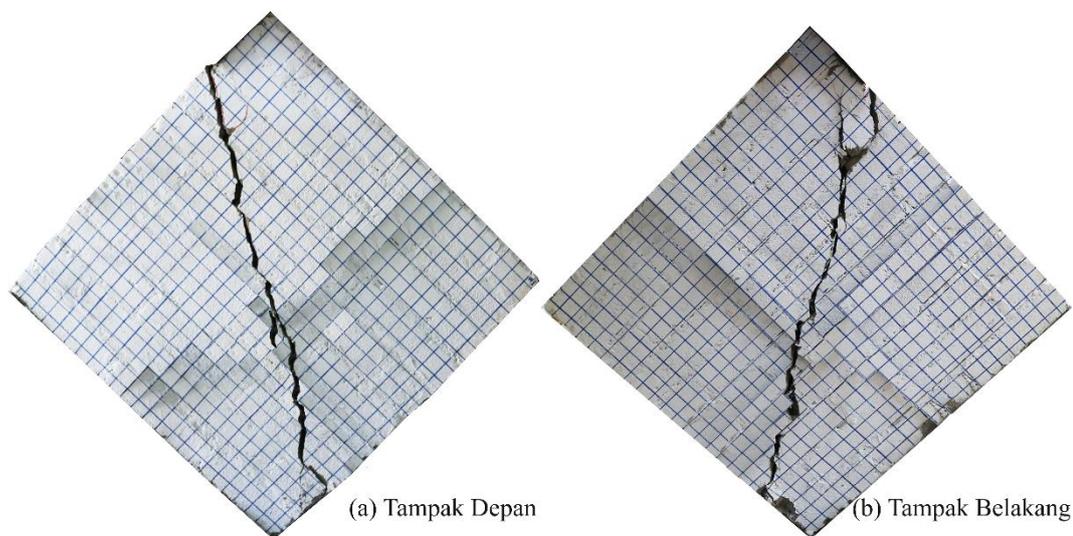
Gambar 5.20 Pengujian Sampel Dinding Tanpa Perkuatan

Hasil perhitungan benda uji dinding tipe *W* dapat dilihat pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Hasil Pengujian Sampel Dinding Dinding Tipe *W*

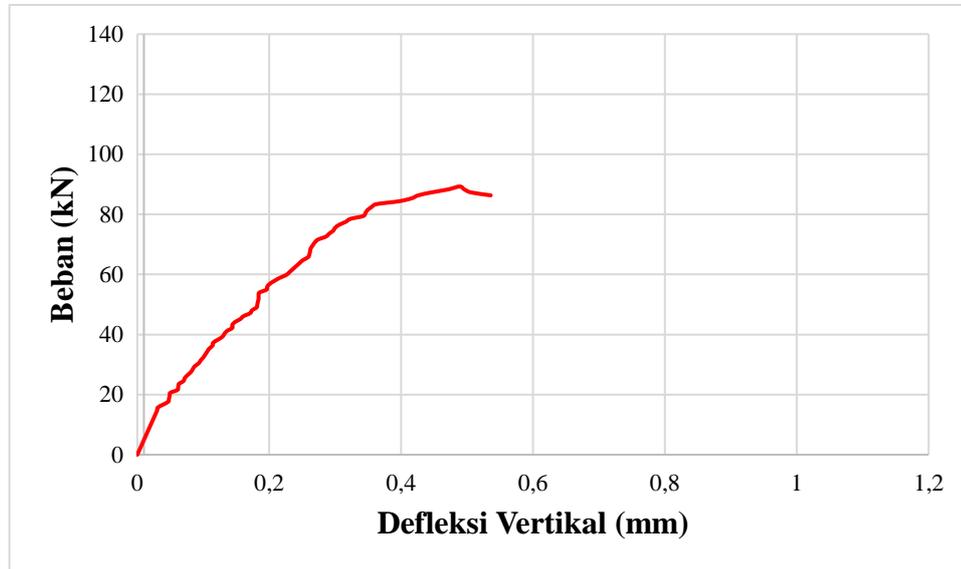
Benda Uji	Beban Maksimum (N)	Dimensi Benda Uji			An (mm ²)	Kuat Geser (MPa)	Kuat Geser Rerata (MPa)
		w (mm)	h (mm)	t (mm)			
<i>W 1</i>	89741,88	1210	1210	110	133100,00	0,477	0,459
<i>W 2</i>	75330,99	1200	1200	113	135600,00	0,393	
<i>W 3</i>	95363,01	1205	1205	110	132550,00	0,509	

Hasil pengujian dari 3 sampel dinding tipe *W* menunjukkan nilai kuat geser diagonal optimum sebesar 0,509 MPa dengan beban optimum 95363,01 N pada benda uji tipe *W 3*, dan kuat geser diagonal rerata dari ketiga sampel tersebut adalah sebesar 0,459 MPa. Gambar 5.21 menunjukkan pola keretakan dinding tipe *W 1*.



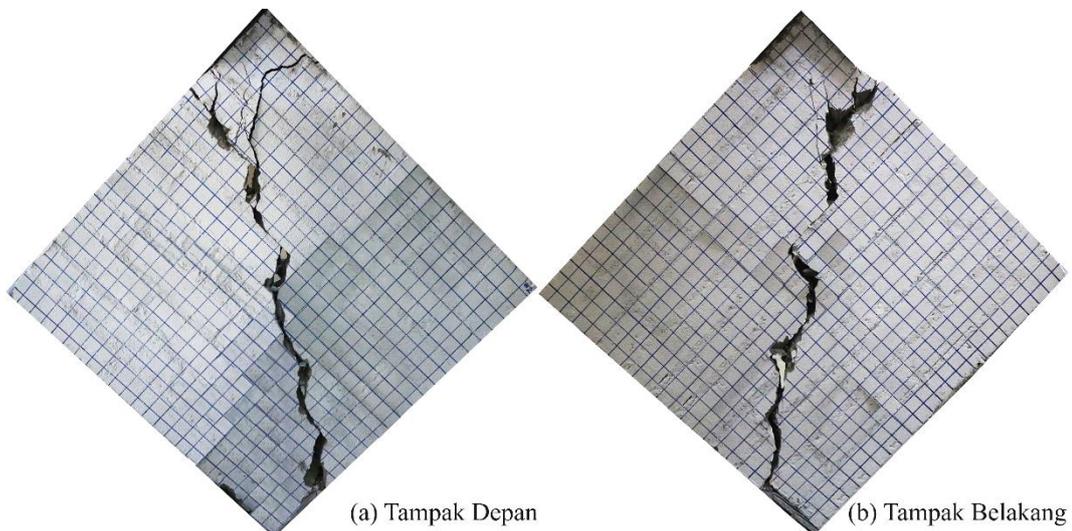
Gambar 5.21 Pola Keretakan Benda Uji Dinding Tipe *W 1*

Kurva terkoreksi hubungan antara beban terpasang dengan defleksi vertikal pada dinding tipe W 1 dapat dilihat pada Gambar 5.22.



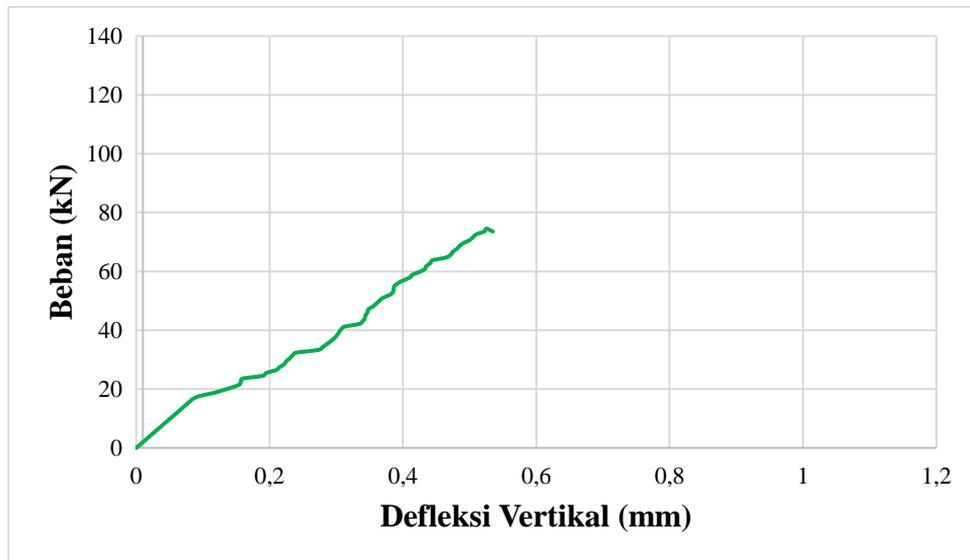
Gambar 5.22 Kurva Terkoreksi Hubungan Antara Beban Terpasang Dengan Defleksi Vertikal Pada Dinding Tipe W 1

Pola keretakan dinding tipe W 2 setelah dilakukan pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.23.



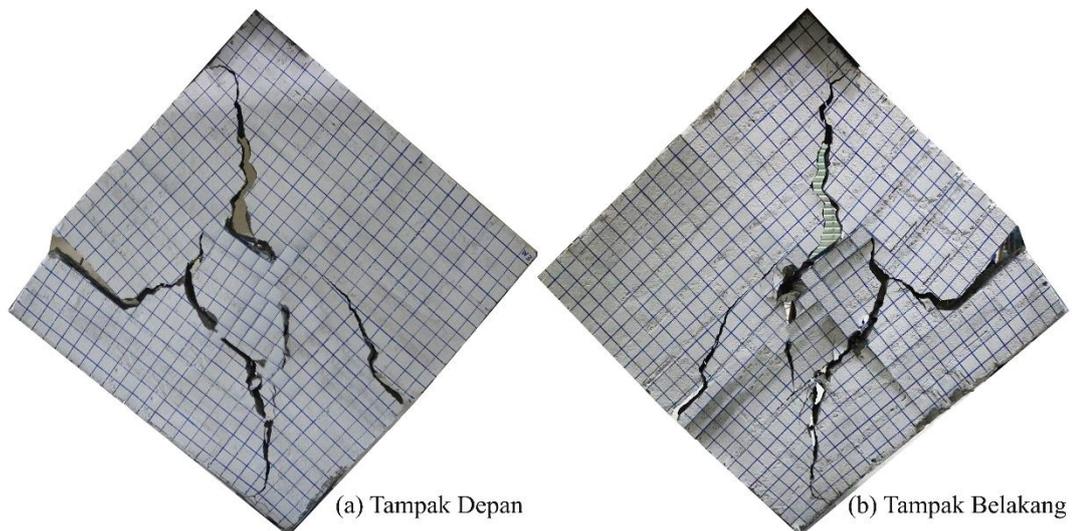
Gambar 5.23 Pola Keretakan Benda Uji Dinding Tipe W 2

Kurva terkoreksi hubungan antara beban terpasang dengan defleksi vertikal pada dinding tipe W 2 dapat dilihat pada Gambar 5.24.



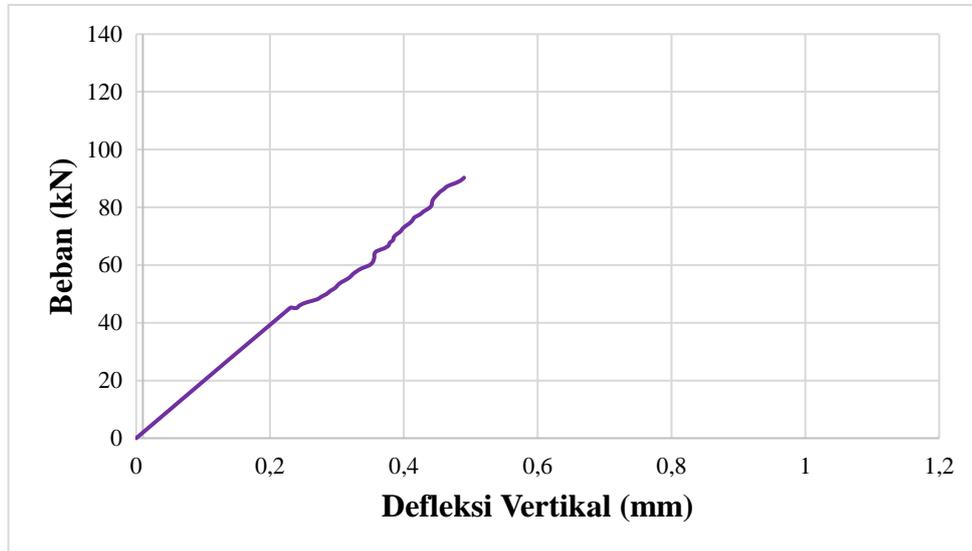
Gambar 5.24 Kurva Terkoreksi Hubungan Antara Beban Terpasang Dengan Defleksi Vertikal Pada Dinding Tipe W 2

Pola keretakan dinding tipe W 3 setelah dilakukan pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.25.



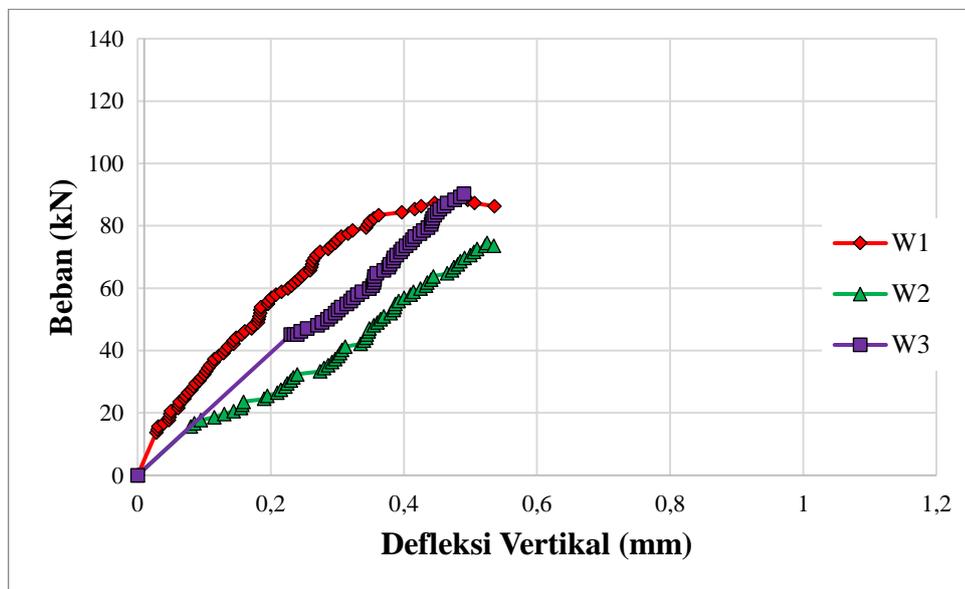
Gambar 5.25 Pola Keretakan Benda Uji Dinding Tipe W 3

Kurva terkoreksi hubungan antara beban terpasang dengan defleksi vertikal pada dinding tipe W 3 dapat dilihat pada Gambar 5.26.



Gambar 5.26 Kurva Terkoreksi Hubungan Antara Beban Terpasang Dengan Defleksi Vertikal Pada Dinding Tipe W 3

Perbandingan kurva terkoreksi hubungan antara beban terpasang dengan defleksi vertikal pada dinding tipe W 1, W 2, dan W 3 dapat dilihat pada Gambar 5.27.



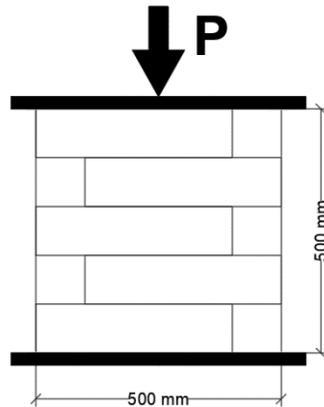
Gambar 5.27 Perbandingan Kurva Terkoreksi Hubungan Antara Beban Terpasang Dengan Defleksi Vertikal Pada Dinding Tipe W

Bentuk hasil pengujian dinding tipe *W* yang ditampilkan pada Gambar 5.21, 5.23, dan 5.25 menunjukkan bahwa pola keretakan pada dinding tipe ini tidak tepat lurus vertikal searah dengan arah beban. Hasil ini merupakan sebuah hal yang berbeda jika dibandingkan dengan dinding yang menggunakan perkuatan, baik itu tipe *confined masonry* maupun tipe *reinforced concrete frame infill masonry*. Pada dinding dengan perkuatan pola keretakan merata seluruh sampel menunjukkan retak diagonal searah beban, hal ini disebabkan beban yang bekerja terlebih dahulu ditahan oleh perkuatan atau yang disebut dengan *frame* kemudian setelah itu ketika beban sudah terpusat pada *frame* dan melebihi kapasitas beban yang dapat ditahan oleh *frame* maka beban akan diteruskan pada komponen penyusun dinding yaitu batako-kait. Inilah yang menyebabkan perbedaan pola keretakan antara dinding dengan perkuatan dan tanpa perkuatan.

Pada dinding tanpa perkuatan beban yang bekerja langsung tertahan oleh batako-kait itu sendiri, sehingga tidak ada waktu untuk pemusatan beban pada garis diagonal dinding. Berdasarkan data foto pada Gambar 5.21, 5.23, dan 5.25 retak terjadi di luar sisi sepatu dinding, melainkan bukan di dalam sepatu dinding. Inilah yang menyebabkan retak pada dinding tidak tepat lurus vertikal searah dengan arah beban. Hasil pengujian kuat geser diagonal dinding pasangan batako-kait yang diperoleh dari laboratorium secara rinci ditampilkan dalam formulir pada Lampiran 10 dan untuk cara pengoreksian grafik dapat dilihat pada Lampiran 11.

5.7.4 Pengujian Kuat Tekan Dinding

Pengujian modulus elastisitas dinding bertujuan untuk mengetahui kuat tekan dinding pasangan batako-kait. Kuat tekan ini merupakan kemampuan batako-kait untuk menerima beban maksimum hingga hancur. Satuan kuat tekan dinyatakan dalam beban per luas area tekan (MPa). Ilustrasi pengujian kuat tekan dinding ditunjukkan pada Gambar 5.28.



Gambar 5.28 Pengujian Sampel Kuat Tekan Dinding

Data benda uji sebagai berikut.

Beban maksimum (P_u) = 79294,23 N

Berat alat bantu (W) = 236,42 N

Lebar benda uji (B) = 500 mm

Tebal benda uji (b) = 110 mm

Tegangan maksimum = 0,5800615 MPa

Regangan maksimum = 0,0004305

Tegangan 1 (σ_1) = 0,2102723 MPa

Tegangan 2 (σ_2) = 0,2320246 MPa

Regangan 1 (ϵ_1) = 0,0001093

Regangan 2 (ϵ_2) = 0,0001233

Sesuai dengan data tersebut, maka dapat dihitung kuat tekan dinding melalui persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 f'_k &= \frac{P_u + W}{B \times b} \\
 &= \frac{79294,23 + 236,42}{500 \times 110} \\
 &= 1,446 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Nilai modulus elastisitas dihitung berdasarkan hasil pengujian yaitu dengan cara membagi antara regangan 2 dan tegangan 2. Nilai tegangan 2 diambil dari 40%

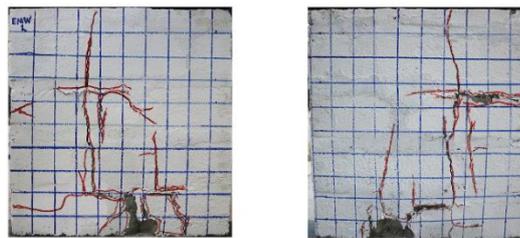
dikali dengan tegangan maksimum, kemudian nilai regangan 2 menyesuaikan dengan nilai tegangan 2. Perhitungan modulus elastisitas yaitu berdasarkan persamaan berikut.

$$E = \frac{\sigma_2}{\epsilon_2}$$

$$= \frac{0,2320246}{0,0001233}$$

$$= 1881,112 \text{ MPa}$$

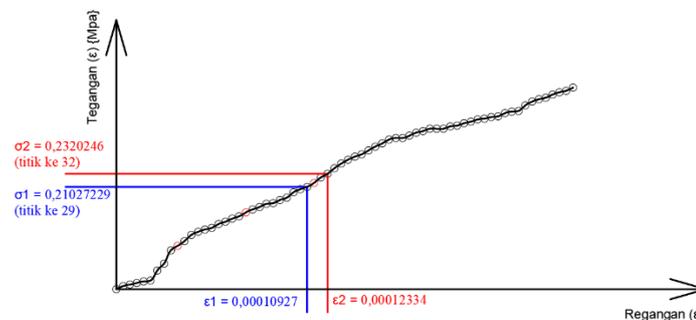
Hasil perhitungan dengan rumus tersebut menunjukkan nilai kuat tekan sebesar 1,446 MPa dan nilai modulus elastisitas sebesar 1881,112 MPa. Hasil pengujian juga menunjukkan pola keretakan dinding tipe *EMW* yang dapat dilihat pada Gambar 5.29.



(a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang

Gambar 5.29 Pola Keretakan Benda Uji Tipe *EMW*

Bagian awal grafik yang tidak linier kemungkinan disebabkan karena terjadinya ketidakakurasian antara pemasangan alat pengujian dengan benda uji, sehingga kondisi ini memerlukan penyesuaian sampai pada waktu tertentu benda uji tersebut dapat menahan beban secara penuh dan menghasilkan grafik yang linier. Kurva hubungan antara tegangan dan regangan pada dinding tipe *EMW* dapat dilihat pada Gambar 5.30.



Gambar 5.30 Kurva Hubungan Antara Tegangan dan Regangan Pada Dinding Tipe *EMW*

5.8 Pembahasan

5.8.1 Kuat Tekan Mortar

Hasil pengujian mortar yang terdapat dalam Tabel 5.14 sub-bab 5.5 memperlihatkan bahwa nilai kuat tekan optimum ada pada sampel mortar serbuk kaca dengan perbandingan 1PC : 3,8PS : 0,2SK yang digunakan untuk pasangan. Kuat tekan 3 sampel mortar tersebut adalah 13,40 MPa, 12,47 MPa, dan 9,00 MPa yang jika di rerata memiliki kuat tekan sebesar 11,62 MPa. Sedangkan untuk kuat tekan terendah yaitu diperoleh pada sampel mortar plesteran tanpa substitusi serbuk kaca. Kuat tekan 3 sampel mortar tersebut adalah 6,72 MPa, 8,74 MPa, dan 6,25 MPa yang jika di rerata memiliki kuat tekan sebesar 7,24 MPa. Hasil pengujian ini menunjukkan terjadinya penambahan kuat tekan mortar untuk pasangan dinding sampai sebesar 60,64%. Menurut Sutrisno (2017), substitusi pasir dengan serbuk kaca yang dioven sampai suhu 700 °C dapat meningkatkan nilai kuat desak rerata nya sampai 23,75% dan meningkatkan kekedapannya sampai 24,39 %. Namun di dalam penelitian ini ternyata diperoleh hasil yang lebih besar yaitu 60,64%.

Tinggi atau rendahnya kuat tekan mortar dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Pertama adalah perbandingan semen dengan pasir. Semakin banyak perbandingan pasir dalam satu semen, maka semakin rendah pula kuat tekan yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena semakin banyaknya pasir yang digunakan, maka pasta semen semakin sulit untuk melapisi pasir secara sempurna. Oleh karena itu ikatan antara pasir dengan semen menjadi lemah. Lemahnya ikatan antara dua komponen ini yang menyebabkan nilai kuat tekan mortar ketika diuji juga berkurang.

Faktor yang kedua adalah *properties* atau karakteristik dari pasir itu sendiri. Di antara faktor yang mempengaruhinya adalah gradasi dan kadar lumpur dalam pasir tersebut. Semakin bervariasi ukuran butir pasir, maka semakin baik pula partikel-partikel pasir saling mengisi rongga dalam suatu campuran mortar. Hal ini menyebabkan kuat tekan mortar yang semakin tinggi. Sebaliknya jika pasir yang digunakan memiliki gradasi yang seragam, maka menyebabkan rongga dalam campuran mortar menjadi lebih banyak, sehingga kuat tekan mortar menurun. Kemudian faktor kadar lumpur dalam pasir juga mempengaruhi kuat tekan mortar.

Semakin tinggi kadar lumpur, maka semakin rendah kuat tekan mortar. Hal ini disebabkan karena lumpur yang terdapat pada pasir menghalangi ikatan antara pasta semen dengan pasir, selain itu sifat menyerap air yang terdapat pada lumpur juga dapat menyebabkan kuat tekan yang rendah. Kadar lumpur pasir yang digunakan dalam penelitian ini sudah sesuai dengan standar yang berlaku yaitu kurang dari 5%.

Selanjutnya faktor yang terakhir adalah proses pencampuran dan pemadatan. Homogenitas campuran dalam mortar juga berpengaruh. Jika pasir semen dan air dalam adukan mortar tercampur secara merata, maka kuat tekan mortar yang dihasilkan pada mortar semakin tinggi. Selain itu proses pemadatan mortar kubus ketika dikerjakan juga mempengaruhi tinggi rendahnya kuat tekan mortar.

Fungsi mortar dalam penelitian ini adalah sebagai bahan pasangan untuk merekatkan antara batako-kait yang satu dengan batako-kait yang lainnya. Bentuk batako-kait yang dibuat menonjol dan berongga memerlukan bahan pengisi agar antara batako-kait memiliki sifat *interlocking* yang baik. Jika mortar yang digunakan memiliki kualitas kuat tekan yang baik, maka mortar akan bekerja secara maksimal untuk menahan beban tekan kemudian menyalurkan beban yang diterima dari batako-kait yang satu ke batako-kait yang lainnya, sehingga menyebabkan ketika dinding diuji geser diagonal menghasilkan kuat geser yang besar.

5.8.2 Kuat Tekan Silinder Beton

Frame dinding dalam penelitian ini adalah sebuah komponen struktural yang pertama kali menahan beban sebelum beban diterima oleh batako-kait yang terdapat di dalam *frame* dinding tersebut. *Frame* dinding dalam penelitian ini terbuat dari beton bertulang, sehingga untuk mengontrol mutu atau kualitas beton yang digunakan dibuatlah silinder beton. Sesuai dengan data yang diperoleh pada Tabel 5.15 dan 5.16 dalam sub-bab 5.6 memperlihatkan bahwa kuat tekan silinder beton rerata pada beton yang digunakan untuk dinding tipe *RCFIM* diperoleh sebesar 27,02 MPa, sedangkan untuk sampel beton yang digunakan untuk dinding tipe *CMW* sebesar 27,94 MPa. Hasil pengujian memperlihatkan nilai kuat tekan

melebihi f'_c rencana yaitu 25 MPa. Hasil ini memperlihatkan ketepatan desain campuran (*mix design*) dengan kuat tekan beton rencana.

5.8.3 Kuat Geser Diagonal Dinding

Menurut standar ASTM E519-02-2002 metode pengujian geser diagonal ini merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menentukan kuat geser diagonal dinding pasangan batako-kait dengan cara memberikan beban tekan sepanjang satu arah diagonal, sehingga menyebabkan kegagalan geser diagonal dengan hasil spesimen terbelah sejajar arah beban. Standar ASTM E519-02-2002 menyebutkan bahwa ukuran spesimen benda uji tidak boleh kurang dari 1,2 m x 1,2 m. Ukuran spesimen benda uji dipilih yang terkecil dan cukup untuk mewakili ukuran penuh dinding pasangan batako-kait serta yang memungkinkan untuk diuji dengan mesin uji seperti yang digunakan oleh banyak laboratorium.

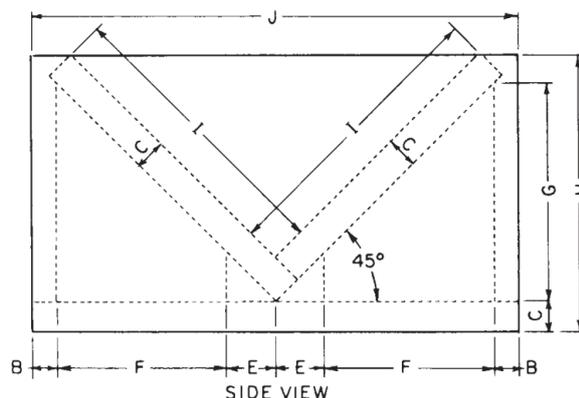
Sesuai dengan standar ASTM E519-02-2002 yang digunakan dalam penelitian ini pengujian harus dilakukan sekurang-kurangnya dengan tiga spesimen serupa yang dibuat dengan ukuran tipe bata atau batako, mortar, dan kualitas pengerjaan yang sama. Berdasarkan hal tersebut dalam penelitian ini masing-masing variasi dinding pasangan batako-kait dibuat menjadi tiga sampel. Pembuatan tiga sampel dari masing-masing variasi ini juga dimaksudkan untuk memperoleh data yang lebih representatif dan akurat.

Hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 5.17, 5.18, dan 5.19 dalam sub-bab 5.7 memperlihatkan nilai kuat geser diagonal optimum pada sampel benda uji tipe *RCFIM* terdapat pada *RCFIM* 3 yaitu sebesar 0,524 MPa, dengan beban optimum 100326,87 N, serta kuat geser diagonal rerata dari ketiga benda uji tipe *RCFIM* tersebut sebesar 0,462 MPa. Kemudian pada sampel tipe *CMW*, didapatkan nilai kuat geser diagonal optimum pada sampel dengan kode benda uji tipe *CMW* 2 yaitu sebesar 0,674 MPa, dengan beban optimum 130943,88 N, serta kuat geser diagonal rerata dari ketiga benda uji tipe *CMW* tersebut sebesar 0,607 MPa. Selanjutnya pada sampel dinding tanpa perkuatan (tipe *W*), didapatkan nilai kuat geser diagonal optimum pada sampel dengan kode benda uji tipe *W* 3 yaitu sebesar 0,509 MPa, dengan beban optimum 95363,01 N, serta kuat geser diagonal rerata

dari ketiga benda uji dinding tanpa perkuatan (tipe *W*) tersebut sebesar 0,459 MPa. Berdasarkan dua metode konstruksi dinding dengan perkuatan yang berbeda tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode pembuatan dinding tipe *confined masonry wall* lebih menghasilkan kuat geser yang tinggi jika dibandingkan dengan metode pembuatan dinding tipe *reinforced concrete frame infill masonry*. Metode pembuatan dinding tipe *confined masonry wall* dapat dijadikan metode acuan dalam pembangunan rumah sederhana tahan gempa.

Kemudian dari hasil pengujian yang dilakukan, didapatkan kuat geser optimum pada sampel dinding tipe *confined masonry wall* sebesar 0,607 MPa. Hal ini menunjukkan nilai kuat geser yang lebih besar jika dibandingkan dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh Raharja (2018) dengan judul Inovasi Bata-Kait Untuk Dinding Pasangan Rumah Sederhana. Penelitian tersebut menghasilkan nilai kuat geser optimum dinding pasangan bata-kait merah hanya sebesar 0,360 MPa. Oleh karena itu dari segi kekuatan, batako-kait memiliki kuat geser yang lebih tinggi daripada bata merah-kait, sehingga dapat dijadikan bahan untuk komponen penyusun dinding rumah sederhana tahan gempa.

Nilai defleksi vertikal atau lendutan yang diperoleh dalam pengujian ini sangat kecil. Nilai defleksi vertikal rerata untuk dinding dengan perkuatan tipe *RCFIM* yaitu sebesar 0,78 mm, sedangkan untuk dinding tipe *CMW* sebesar 0,90 mm dan untuk dinding tanpa perkuatan tipe *W* sebesar 0,61 mm. Hal ini disebabkan karena terjadinya ketidakakurasian antara pemasangan alat pengujian dengan benda uji, sehingga kondisi ini memerlukan penyesuaian antara alat pengujian dengan benda uji sampai pada waktu tertentu benda uji tersebut dapat menahan beban secara penuh. Alat pengujian yang dimaksud adalah sepatu pembebanan. Oleh karena itu untuk mencapai hasil yang optimum, prosedur penempatan sepatu pembebanan agar sesuai dengan benda uji telah diatur dalam ASTM E519-02-2002 pasal 6. Detail pemasangan sepatu pembebanan ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 5.31 Detail Pemasangan Sepatu Pembebanan

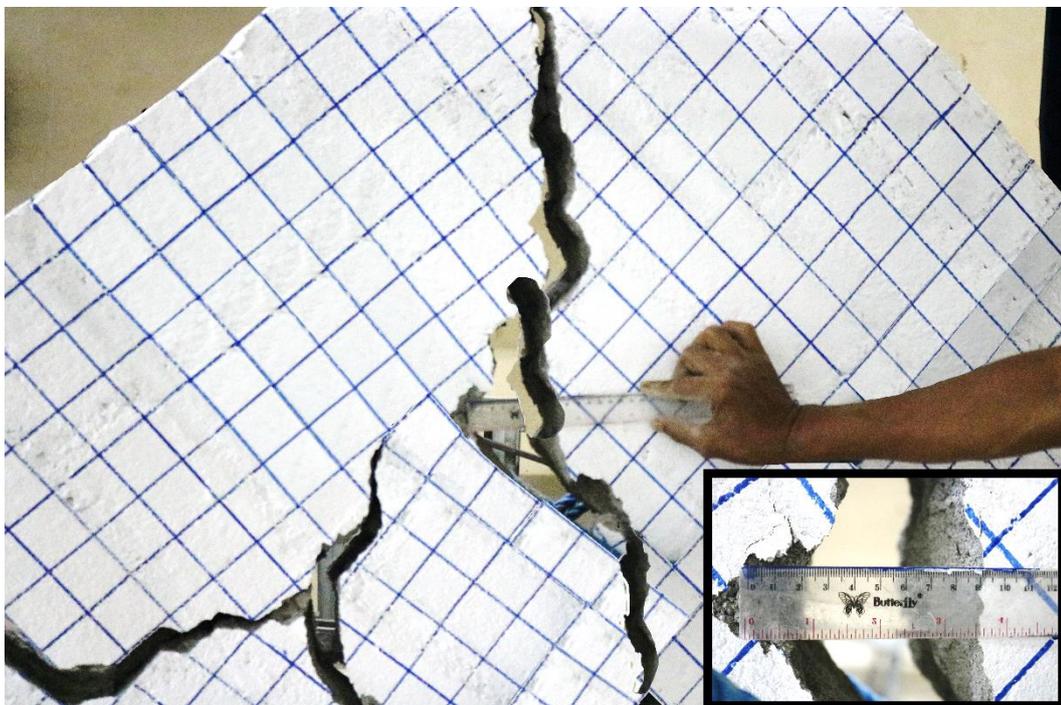
(Sumber: ASTM E519-02-2002)

Selanjutnya setelah dilakukan pengujian pada seluruh sampel pasangan batako-kait, didapatkan pola keretakan dinding pasangan batako kait. Pola keretakan tersebut merupakan jenis retak diagonal. Retak diagonal ini adalah adalah bentuk keretakan yang menghubungkan dua ujung sisi yang terkena beban. Pola ini terjadi karena kekuatan frame yang kuat, sedangkan bahan penyusun dinding batako mempunyai kekuatan yang agak lemah. Hal ini memperlihatkan pola keretakan yang sesuai dengan teori, karena beban yang bekerja terletak pada ujung dinding maka seharusnya menghasilkan retak secara diagonal. Kemudian jika diamati pada pasangan dinding batako-kait, keretakan tidak hanya terjadi pada mortar, melainkan juga pada batako-kait itu sendiri. Keretakan seperti ini memperlihatkan bahwa efek saling mengunci (*interlocking*) antar batako-kait bekerja secara maksimal. Hal tersebut memperlihatkan bagian yang lemah yaitu terdapat pada mortar dan batako-kait itu sendiri.

Berdasarkan pada Gambar 5.6, 5.8 dan 5.10 yang terdapat dalam sub-bab 5.7.1 hasil pengujian, memperlihatkan pola keretakan dinding tipe *RCFIM* yaitu retak searah beban tetapi tidak tepat lurus vertikal, hal ini dikarenakan bagian yang lemah dalam sampel ini terdapat pada batako-kait dan juga mortar. Berbeda hasilnya jika diamati pada sampel *CMW* yang terdapat pada Gambar 5.13, 5.15, dan 5.17 yang terdapat dalam sub-bab 5.7.2 yaitu pola keretakan nya hampir mendekati lurus vertikal searah dengan arah beban. Hal ini disebabkan karena beban yang bekerja terlebih dahulu ditahan oleh perkuatan atau yang disebut dengan *frame*

kemudian setelah itu ketika beban sudah terpusat pada *frame* dan melebihi kapasitas beban yang dapat ditahan oleh *frame* maka beban akan diteruskan pada komponen penyusun dinding yaitu batako-kait. Selanjutnya perbedaan juga terjadi pada pola keretakan dinding tanpa perkuatan. Pada Gambar 5.21, 5.23, dan 5.25 yang terdapat dalam sub-bab 5.7.3 menampilkan pola keretakan dinding yang paling tidak tepat lurus vertikal searah dengan arah beban. Pada dinding tanpa perkuatan beban yang bekerja langsung tertahan oleh batako-kait itu sendiri, sehingga tidak ada waktu untuk pemusatan beban pada garis diagonal dinding. Berdasarkan data foto pada Gambar 5.21, 5.23, dan 5.25 retak terjadi di luar sisi sepatu dinding, melainkan bukan di dalam sepatu dinding. Inilah yang menyebabkan retak pada dinding tidak tepat lurus lurus vertikal searah dengan arah beban.

Dinding pasangan batako-kait ketika dikenakan beban menjadi terpecah dua atau lebih bagian. Bagian yang terbelah ini disebut dengan keretakan. Lebar retakan maksimum terjadi pada sampel dinding tanpa perkuatan tipe W 3 yaitu sebesar 9 cm. Pengukuran lebar keretakan pada sampel dinding tanpa perkuatan tipe W 3 dapat dilihat pada Gambar 5.32.



Gambar 5.32 Lebar Keretakan Pada Sampel Dinding Tanpa Perkuatan (Tipe W 3)

5.8.4 Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Dinding

Kuat tekan dinding pasangan batako-kait didefinisikan kemampuan batako dalam menerima beban maksimum hingga batako-kait penyusun dinding tersebut hancur. Sama seperti pada umumnya, kuat tekan dinding pasangan batako-kait ini juga dinyatakan dalam MPa. Hasil perhitungan dalam sub-bab 5.7.4 diperoleh nilai kuat tekan optimum yaitu sebesar 1,446 MPa dengan beban optimum sebesar 79294,23 N. Nilai modulus elastisitas dinding pasangan batako-kait diperoleh sebesar 1881,112 MPa. Nilai modulus elastisitas dihitung berdasarkan hasil pengujian yaitu dengan cara membagi antara regangan 2 dan tegangan 2. Nilai tegangan 2 diambil dari 40% dikali dengan tegangan maksimum, kemudian nilai regangan 2 menyesuaikan dengan nilai tegangan 2. Hasil modulus elastisitas ini telah dibandingkan dengan penelitian Jonaitis dkk (2013) dan Anggraeni dkk (2015).

Menurut Jonaitis dkk (2013) modulus elastisitas optimum batako yaitu sebesar 1248 MPa. Hasil tersebut lebih kecil sebesar 33,66% jika dibandingkan dengan modulus elastisitas batako dalam penelitian ini. Selain itu menurut Anggraeni dkk (2015) modulus elastisitas batako optimum yaitu sebesar 1086,240 MPa. Hasil tersebut juga lebih kecil sebesar 42,25% jika dibandingkan dengan modulus elastisitas batako dalam penelitian ini. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas dari sebuah bahan, memperpresentasikan material tersebut semakin kaku. Hal ini diperlukan agar dinding pasangan batako-kait tidak mudah roboh atau hancur ketika terkena gaya gempa.