

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Dari pengujian yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil penelitian berupa data yang telah dianalisis dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Pengujian-pengujian yang telah dilakukan dimaksudkan untuk mendapatkan hasil berupa kualitas beton kertas (*papercrete*) yang didapat dari uji tekan kubus, kuat tekan, kuat lentur, serta kuat tarik diagonal (geser) dari dinding panel *papercrete*, grafik hubungan antara beban-lendutan, dan gambar pola keretakan yang terjadi. Data yang diperoleh tersebut kemudian dianalisis, sehingga didapat kesimpulan dari pengujian yang telah dilaksanakan.

5.2 Pemeriksaan Karakteristik Bahan

Bahan yang dimaksud dalam hal ini adalah suatu material yang digunakan dalam campuran beton kertas (*papercrete*) yaitu agregat halus, bubur kertas, dan bahan tambah berupa *fly ash*. Dalam pengujian karakteristik bahan yang dilakukan meliputi berat jenis, berat isi gembur, berat isi padat, gradasi pasir, dan kandungan lumpur. Pada bubur kertas berupa pemeriksaan penyerapan air. Sedangkan pada *fly ash*, hanya berupa pemeriksaan berat isi gembur dan padat.

5.2.1 Pemeriksaan Agregat Halus

Pemeriksaan agregat halus dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari agregat yang digunakan. Pemeriksaan agregat halus sangat diperlukan karena agregat halus merupakan salah satu bahan utama pembuatan beton kertas. Data yang diperoleh menjadi parameter dalam proses pencampuran suatu bahan. Berikut ini pemeriksaan yang dilakukan terhadap agregat halus.

1. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Pemeriksaan berat jenis adalah perbandingan relatif massa jenis suatu zat dan massa jenis air murni. Pemeriksaan penyerapan air adalah untuk mengetahui

kemampuan agregat dalam menyerap air. Berdasarkan hasil pemeriksaan yang dilakukan terhadap berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus didapatkan data seperti yang terlihat pada Tabel 5.1

Tabel 5.1 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

No	Uraian	Hasil	Satuan
1	Berat pasir kering mutlak (Bk)	485,5	gram
2	Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	500	gram
3	Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt)	1159,7	gram
4	Berat piknometer berisi air (B)	846	gram
5	Berat jenis curah $Bk/(B+500-Bt)$	2,606	gram/cm ³
6	Berat jenis jenuh kering muka $500/(B+500-Bt)$	2,683	gram/cm ³
7	Berat jenis semu $Bk/(B+Bk-Bt)$	2,825	gram/cm ³
8	Penyerapan air $(500-Bk)/Bk \times 100\%$	2,987	%

Hasil pemeriksaan di atas, terlihat bahwa berat jenuh kering muka agregat halus pada sungai Progo termasuk kedalam jenis agregat normal memenuhi syarat untuk pembuatan beton berkisar antara 2,50-2,75 gram/cm³. Berdasarkan data tersebut didapatkan berat jenis curah 2,606 gram/cm³ dan berat jenis kering muka 2,683 gram/cm³. Nilai berat jenis jenuh kering muka agregat halus lebih tinggi dari berat jenis curah, tetapi lebih rendah dari berat jenis semu sebesar 2,825 gram/cm³ dan besarnya penyerapan air yang dapat dilakukan oleh agregat halus sebesar 2,987% dari berat sendiri.

2. Pemeriksaan berat isi gembur

Pemeriksaan berat isi gembur adalah untuk mengetahui perbandingan antara agregat dan volumenya tanpa mengalami pemadatan. Setelah melakukan pemeriksaan berat isi gembur pada agregat halus yang berasal dari sungai Progo didapatkan data seperti terlihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Gembur Agregat Halus

No	Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
1	Berat tabung ($W1$)	12450	gram
2	Berat tabung + agregat SSD ($W2$)	20950	gram
3	Berat agregat ($W3$)	8500	gram
4	Diameter silinder (d)	15	cm
5	Tinggi silinder (t)	29,8	cm
6	Volume tabung (V) = $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$	5268,214	cm ³
7	Berat volume gembur = ($W3/V$)	1,567	gram/cm ³

Hasil dari pengujian menunjukkan agregat pasir yang berasal dari sungai Progo termasuk dalam kategori agregat normal karena mempunyai nilai berat isi gembur sebesar 1,567 gram/cm³. Dari pemeriksaan terlihat bahwa pasir tersebut baik dapat digunakan untuk campuran beton.

3. Pemeriksaan berat isi padat

Pemeriksaan berat isi padat adalah untuk mengetahui perbandingan antara berat agregat dan volumenya dengan melakukan pemadatan. Setelah dilakukan pemeriksaan berat isi padat agregat halus yang berasal dari sungai Progo didapatkan hasil seperti terlihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Padat Agregat Halus

No	Uraian	Hasil	Satuan
1	Berat tabung ($W1$)	12450	gram
2	Berat tabung + agregat SSD ($W2$)	21850	gram
3	Berat agregat ($W3$)	9400	gram
4	Diameter silinder (d)	15	cm
5	Tinggi silinder (t)	29,8	cm
6	Volume tabung (V)	5268,214	cm ³
7	Berat volume padat = ($W3/V$)	1,784	gram/cm ³

Hasil pemeriksaan berat isi padat pada agregat halus yang berasal dari sungai Progo didapatkan berat volume padat sebesar 1,784 gram/cm³. Dari data di atas dapat dilihat bahwa berat isi sebelum dan sesudah dilakukan pemadatan mempunyai berat yang berbeda. Berat isi padat lebih besar daripada berat isi gembur.

4. Pemeriksaan modulus halus butir

Pemeriksaan modulus halus butir dilakukan untuk mengetahui suatu indeks yang dipakai untuk ukuran kehalusan dan kekasaran butiran-butiran agregat. Hasil pemeriksaan didapatkan data Modulus Halus Butir (MHB) agregat halus seperti terlihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Pemeriksaan Modulus Halus Butir Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal kumulatif (%)	Persen Lolos kumulatif (%)
10	-	-	-	100
4,80	46,8	2,343	2,343	97,656
2,40	280,2	14,031	16,374	83,625
1,20	477,4	23,905	40,280	59,719
0,60	597,1	29,899	70,180	29,819
0,30	364,4	18,247	88,4276	11,572
0,15	176,2	8,823	97,250	2,749
Sisa	54,9	2,749	100	0
Jumlah	1997	100	314,857	

Berdasarkan data dari tabel di atas, maka dapat dihitung besarnya nilai modulus halus butir (MHB) pasir yang akan digunakan. Nilai modulus halus butir pasir yang diperiksa adalah sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus halus butir} &= \frac{\text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{314,857}{100} \\
 &= 3,148
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa nilai modulus halus butir pasir yang akan digunakan adalah 3,148. Dari hasil MHB dapat diketahui bahwa pasir Progo termasuk dalam jenis pasir kasar dengan MHB = 2,90-3,20. Hasil pemeriksaan tersebut juga dijadikan pedoman dalam menentukan daerah gradasi pasir, sehingga dapat mengklasifikasikan agregat halus yang digunakan masuk

dalam kategori pasir tertentu sesuai yang telah diisyaratkan. Ketentuan daerah gradasi pasir berdasarkan persen berat butir agregat yang lolos ayakan dapat dilihat pada Tabel 5.5 seperti berikut ini.

Tabel 5.5 Daerah Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Berat tembus kumulatif (%)							
	Zona 1		Zona 2		Zona 3		Zona 4	
	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 :

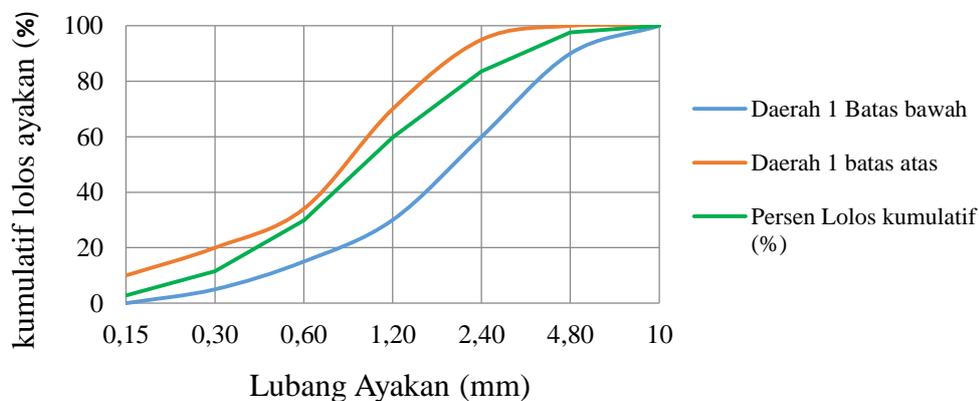
Zona 1 = pasir kasar,

Zona 3 = pasir halus,

Zona 2 = pasir agak kasar,

Zona 4 = pasir agak halus.

Hasil pemeriksaan modulus halus butir agregat halus dapat dimasukkan dalam grafik daerah gradasi yang dibuat dari Tabel 5.5 di atas, sehingga dapat diketahui pasir yang telah diperiksa termasuk ke dalam zona tertentu. Dari hasil pengujian, pasir yang digunakan termasuk dalam zona 1. Pasir yang masuk ke dalam zona 1 merupakan kategori pasir kasar seperti terlihat pada Gambar 5.1 di bawah ini.



Gambar 5.1 Hasil Pengujian Saringan

5. Pemeriksaan Kadar Lumpur

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kadar lumpur pada agregat halus. Kadar lumpur dalam agregat mempengaruhi kualitas dari agregat halus. 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 5.6 serta hasil dari pengujian seperti pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.6 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 5.7 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)	492,8
3	Kadar lumpur (%)	1,461

Berikut ini adalah perhitungan kandungan lumpur pasir Progo.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar lumpur} &= \left(\frac{W_1 - W_2}{W_1} \right) \times 100\% \\
 &= \left(\frac{500 - 492,8}{500} \right) \times 100\% \\
 &= 1,461 \%
 \end{aligned}$$

5.2.2 Pemeriksaan Kadar Air Bubur Kertas

Pada pengujian ini berguna untuk mengetahui kadar air yang terkandung dalam bubur kertas. Metode pengujian yang dilakukan sama dengan pengujian kadar air pada agregat. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5.8 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Bubur Kertas

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat Bubur kertas , gram	1000
Berat bubur Kertas Kering Oven, gram	108,34
Penyerapan Air, %	823%

Dari hasil pemeriksaan, menunjukkan bahwa bubur kertas yang berasal dari koran memiliki kadar air sebesar 823%. Ini menunjukkan untuk mendapatkan campuran bubur kertas jenuh air SSD diperlukan perbandingan kertas : air sebesar 1:8. Campuran bubur kertas yang optimal menghasilkan campuran beton yang baik karena tidak ada air sisa bubur kertas yang akan mengganggu nilai fas pada campuran beton.

5.2.3 Pemeriksaan *Fly Ash*

Pada pemeriksaan ini berguna untuk mengetahui perbandingan antara berat *fly ash* dan volumenya dengan melakukan pemadatan dan tanpa pemadatan. *Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap Paiton Jawa Timur, dengan golongan F. Metode pemeriksaan yang dilakukan sama dengan pemeriksaan agregat.

1. Pemeriksaan berat isi gembur *fly ash*

Pemeriksaan berat isi gembur adalah untuk mengetahui perbandingan antara berat *fly ash* dan volumenya tanpa mengalami pemadatan. Setelah melakukan pemeriksaan berat isi gembur pada *fly ash* didapatkan data seperti terlihat pada Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.9 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Gembur *Fly Ash*

No	Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
1	Berat tabung ($W1$)	5291	gram
2	Berat tabung + <i>fly ash</i> ($W2$)	7390	gram
3	Berat <i>fly ash</i> ($W3$)	2099	gram
4	Diameter silinder (d)	10,32	cm
5	Tinggi Silinder (t)	19,81	cm
6	Volume Tabung (V) = $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$	1657,71	cm ³
7	Berat volume Gembur = ($W3/V$)	1,266	gram/cm ³

Hasil dari pengujian menunjukkan *fly ash* yang berasal dari PLTU piton mempunyai nilai berat isi gembur sebesar 1,266 gram/cm³.

2. Pemeriksaan berat isi padat *fly ash*

Pemeriksaan berat isi padat adalah untuk mengetahui perbandingan antara berat *fly ash* dan volumenya dengan melakukan pemadatan. Setelah dilakukan pemeriksaan berat isi padat *fly ash* didapatkan hasil seperti terlihat pada Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5.10 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Padat *Fly Ash*

No	Uraian	Hasil	Satuan
1	Berat tabung (<i>W1</i>)	5291	gram
2	Berat tabung + <i>fly ash</i> (<i>W2</i>)	7619	gram
3	Berat <i>fly ash</i> (<i>W3</i>)	2328	gram
4	Diameter silinder (<i>d</i>)	10,32	cm
5	Tinggi Silinder (<i>t</i>)	19,81	cm
6	Volume Tabung (<i>V</i>)	1657,71	cm ³
7	Berat volume padat = (<i>W3/V</i>)	1,404	gram/cm ³

Hasil pemeriksaan berat isi padat pada agregat halus yang berasal dari PLTU Piton didapatkan berat volume padat sebesar 1,404 gram/cm³.

5.3 Pemeriksaan *Wire Mesh*

Pada pengujian ini berguna untuk mengetahui kuat tarik jaring kawat (*wire mesh*) yaitu tegangan maksimum yang mampu diterima oleh jaring kawat (*wire mesh*) ketika ditarik atau diregangkan sebelum jaring kawat tersebut patah. Pengujian tarik kawat *wire mesh* didasarkan pada peraturan SNI 07-0371-1998 yaitu batang uji tarik bahan logam. Berikut hasil perhitungan kuat tarik kawat *wire mesh* tersaji dalam Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Hasil Pemeriksaan Kuat Tarik *Wire Mesh*

No	Kode	Diameter Penampang (mm)	Luas (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Tarik rata-rata (MPa)
1	KL 1	0,95	0,71	630	889,25	890,78
2	KL 2	0,94	0,69	620	893,85	
3	KL 3	0,95	0,71	630	889,25	

Dari Hasil Pengujian yang dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik, Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gajah Mada diperoleh kuat tarik rata-rata dari sampel *wire mesh* sebesar 890,78 MPa. Hasil pengujian *wire mesh* dapat dilihat pada Lampiran 6.

5.4 Pemeriksaan Air

Pada penelitian ini air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, FTSP, Universitas Islam Indonesia. Pemeriksaan yang dilakukan secara visual. Pada Pengamatan terlihat bahwa air yang digunakan bersih, tidak mengandung garam, tidak berwarna keruh, serta tidak berbau. Dari hasil pengamatan di atas, dapat disimpulkan bahwa air yang digunakan untuk campuran telah memenuhi syarat.

5.5 Perhitungan Kebutuhan Bahan

Perhitungan kebutuhan bahan digunakan untuk mengetahui kebutuhan bahan campuran yang diperlukan. Pada penelitian ini, digunakan perbandingan (semen : pasir : bubuk kertas : *fly ash*) adalah 1:3:0,25:0,2. Perbandingan tersebut menggunakan perbandingan volume. Untuk memudahkan dalam perhitungan kebutuhan jumlah semen dan pasir, maka perbandingan volume tersebut diubah ke dalam perbandingan berat. Berikut ini adalah contoh perhitungan kebutuhan bahan.

Berat volume pasir	= 1600 kg/m ³
Berat volume semen	= 40 kg/0,0192 m ³
Berat volume kertas	= 340 kg/m ³
Berat volume <i>fly ash</i>	= 1300 kg/m ³
Panjang benda uji	= 0,5 m
Lebar benda uji	= 0,5 m
Tinggi benda uji	= 0,05 m
Fas	= 0,6

Perbandingan (semen : pasir : bubuk kertas : *fly ash*) = 1:3:0,25:0,2.

Dengan data tersebut dapat dihitung kebutuhan semen dan pasir yang dibutuhkan dalam satu benda uji dengan cara sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\text{Semen yang dibutuhkan} &= \left(\frac{1}{4,45} \times \text{volume benda uji} \times \text{jumlah benda uji} \right) \\
&= \left(\frac{1}{4,45} \times 0,5 \times 0,5 \times 0,05 \times 6 \right) \\
&= 0,017 \text{ m}^3 \\
&= \frac{0,017 \text{ m}^3}{0,0192 \text{ m}^3} \times 40 \text{ kg} \\
&= 35,112 \text{ kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Pasir yang dibutuhkan} &= \left(\frac{3}{4,45} \times \text{volume benda uji} \times \text{jumlah benda uji} \right) \\
&= \left(\frac{3}{4,45} \times 0,5 \times 0,5 \times 0,05 \times 6 \right) \\
&= 0,051 \text{ m}^3 \\
&= 0,051 \text{ m}^3 \times 1600 \text{ kg/m}^3 \\
&= 80,899 \text{ kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Bubur kertas dibutuhkan} &= \left(\frac{0,25}{4,45} \times \text{volume benda uji} \times \text{jumlah benda uji} \right) \\
&= \left(\frac{0,25}{4,45} \times 0,5 \times 0,5 \times 0,05 \times 6 \right) \\
&= 4,213 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \\
&= 4,213 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \times 340 \text{ kg/m}^3 \\
&= 1,432 \text{ kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Fly ash yg dibutuhkan} &= \left(\frac{0,2}{4,45} \times \text{volume benda uji} \times \text{jumlah benda uji} \right) \\
&= \left(\frac{0,2}{4,45} \times 0,5 \times 0,5 \times 0,05 \times 6 \right) \\
&= 3,371 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \\
&= 3,371 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \times 1300 \text{ kg/m}^3 \\
&= 4,382 \text{ kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Air yang dibutuhkan} &= \text{Fas} \times \text{jumlah semen} \\
&= 0,6 \times 0,017 \text{ m}^3 \\
&= 0,0102 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

$$= 0,0102 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$= 10,112 \text{ kg}$$

Hasil perhitungan kebutuhan bahan semua sampel panel dinding dengan perbandingan komposisi campuran (semen : pasir : bubuk kertas : *fly ash*) adalah 1:3:0,25:0,2 disusun dalam Tabel 5.12

Tabel 5.12 Kebutuhan Bahan untuk Semua Benda Uji

No	Sampel	Dimensi (m)			Jumlah	Material yang Dibutuhkan (kg)				
		P	L	T		Semen	Pasir	Kertas	<i>Fly Ash</i>	Air
1	Geser Diagonal	1,2	1,2	0,05	6	202,24	465,97	8,25	25,24	58,24
2	Lentur	1	0,5	0,05	6	70,22	161,79	2,86	8,76	20,22
3	Desak	0,5	0,5	0,05	6	35,11	80,89	1,43	4,38	10,11

5.6 Pengujian Kuat Tekan Beton Kertas (*Papercrete*)

Pengujian kuat tekan dilakukan pada campuran mortar (semen:pasir) dengan bubuk kertas dan *fly ash* atau dalam penelitian ini disebut beton kertas (*papercrete*) untuk mengetahui komposisi yang menghasilkan kuat tekan paling maksimal. Pengujian kuat tekan *papercrete* dilakukan ketika benda uji berumur 7 hari dan 14 hari setelah dirawat dengan cara ditutup dengan karung goni basah untuk menjaga kelembapannya. Benda uji memiliki empat jenis variasi campuran (semen : pasir : bubuk kertas : *fly ash*) yaitu (1:3:0,25:0) , (1:3:0,25:0,2) , (1:3:0,5:0,2) , (1:3:0,5:0,4). Setiap variasi dibuat 12 buah dengan ketentuan 6 buah untuk pengujian 7 hari dan 6 buah untuk pengujian 14 hari. Sampel berupa kubus dengan ukuran 5cm x 5cm x 5cm.

Pengujian kuat tekan beton kertas (*papercrete*) dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan sampel dari masing-masing campuran, yang nantinya variasi dengan kuat tekan tertinggi akan digunakan sebagai campuran sampel dinding. Pengujian dilakukan menggunakan alat UTM dengan cara sampel kubus diberikan pembebanan hingga terjadi keruntuhan. Kuat tekan *papercrete* dapat diketahui melalui perbandingan lurus antara beban maksimum dengan luasan bidang tekan yang dinyatakan dalam N/mm^2 . Berikut ini adalah contoh perhitungan kuat tekan.

$$\text{Panjang benda uji (P)} = 49,95 \text{ mm}$$

Lebar benda uji (L) = 52,95 mm

Beban tekan maksimum = 3380 kgf

Konversi kgf ke Newton = 9,81

Dengan data di atas dapat dihitung besar kuat tekan beton kertas melalui Persamaan 3.7 sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Luas bidang tekan (A)} &= P \times L \\ &= 49,95 \text{ mm} \times 52,95 \text{ mm} \\ &= 2645 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan (f'm)} &= \frac{P_{maks}}{A} \\ &= \frac{3380 \times 9,81}{2645} \\ &= 12,53 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dengan rumus yang sama didapatkan hasil perhitungan untuk semua sampel secara keseluruhan seperti terlihat pada Tabel 5.13 untuk perhitungan kuat tekan 7 hari dan Tabel 5.14 untuk perhitungan kuat tekan 14 hari.

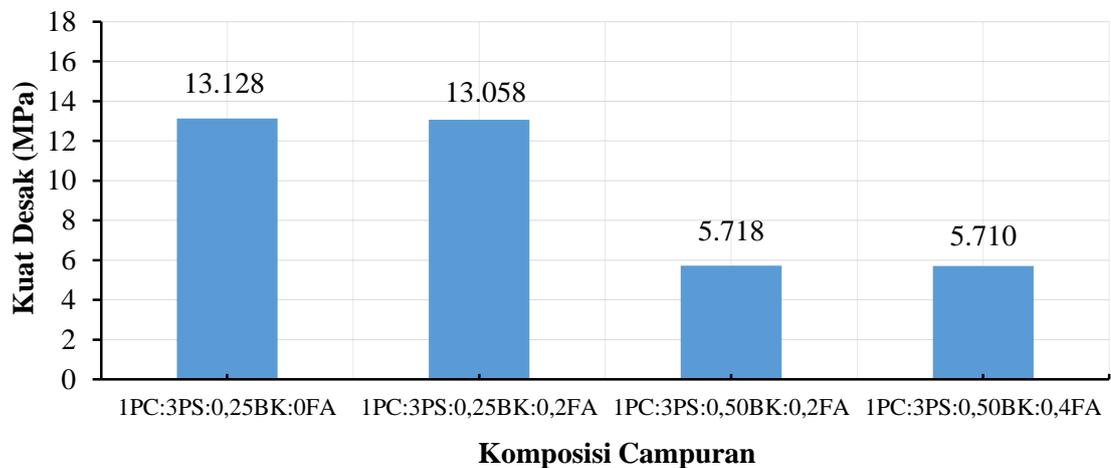
Tabel 5.13 Hasil Pengujian Kuat Tekan Papercrete Umur 7 Hari

No	Komposisi Campuran	Beban Maksimum		Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
		kgf	Newton			
1	1PC:3PS:0,25BK:0FA	3380	33157,8	2645	12,537	13,128
		3560	34923,6	2602	13,424	
		3160	30999,6	2598	11,933	
		3590	35217,9	2603	13,532	
		3445	33795,45	2584	13,078	
		3720	36493,2	2558	14,266	
2	1PC:3PS:0,25BK:0,2FA	3690	36198,9	2656	13,628	13,059
		3520	34531,2	2677	12,902	
		3740	36689,4	2679	13,697	
		3620	35512,2	2662	13,341	
		2985	29282,85	2649	11,052	
		3765	36934,65	2690	13,733	

Tabel 5.13 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Papercrete* Umur 7 Hari (Lanjutan)

No	Komposisi Campuran	Beban Maksimum		Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
		kgf	Newton			
3	1PC:3PS:0,50BK:0,2FA	1510	14813,1	2558	5,791	5,719
		1517,5	14886,675	2646	5,627	
		1560	15303,6	2634	5,810	
		1487,5	14592,375	2627	5,555	
		1552,5	15230,025	2606	5,843	
		1555	15254,55	2683	5,685	
4	1PC:3PS:0,50BK:0,4FA	1617,5	15867,675	2682	5,916	5,710
		1565	15352,65	2654	5,784	
		1630	15990,3	2743	5,831	
		1577,5	15475,275	2682	5,771	
		1415	13881,15	2670	5,199	
		1590,5	15602,805	2709	5,759	

Kuat Desak 7 Hari

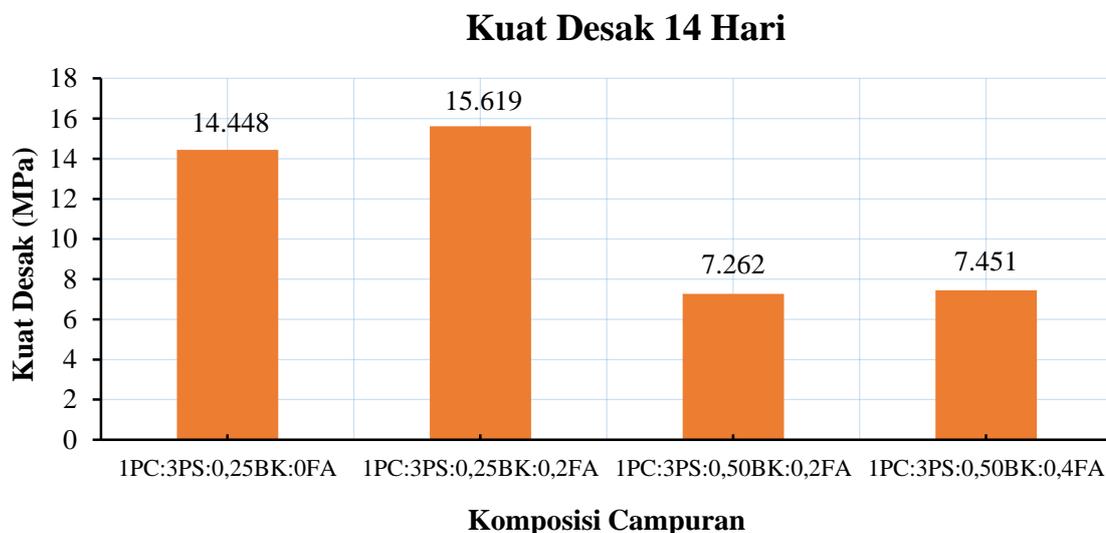
**Gambar 5.2 Kuat Tekan *Papercrete* Umur 7 Hari**

Berdasarkan hasil pengujian sampel beton kertas dengan umur 7 hari didapatkan data nilai kuat tekan rata-rata tertinggi pada campuran variasi 1PC:3PS:0,25BK:0FA yang memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 13,128 MPa dan nilai kuat tekan rata-rata terendah adalah campuran variasi 1PC:3PS:0,50BK:0,4FA dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 5,710 MPa.

Dari data tersebut pada umur 7 hari benda uji dengan penambahan *fly ash* sebesar 0,2 dari volume memiliki kuat desak yang relative lebih kecil dari pada benda uji dengan komposisi (semen:pasir:bubur kertas) yang sama. Pada komposisi K1 (1PC:3PS:0,25BK:0FA) dengan K2 (1PC:3PS:0,25BK:0,2FA) terjadi penurunan sebesar 5,33%. Sedangkan pada komposisi K3 (1PC:3PS:0,5BK:0,2FA) dengan K4 (1PC:3PS:0,5BK:4FA) terjadi penurunan sebesar 0,13%.

Tabel 5.14 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Papercrete* Umur 14 Hari

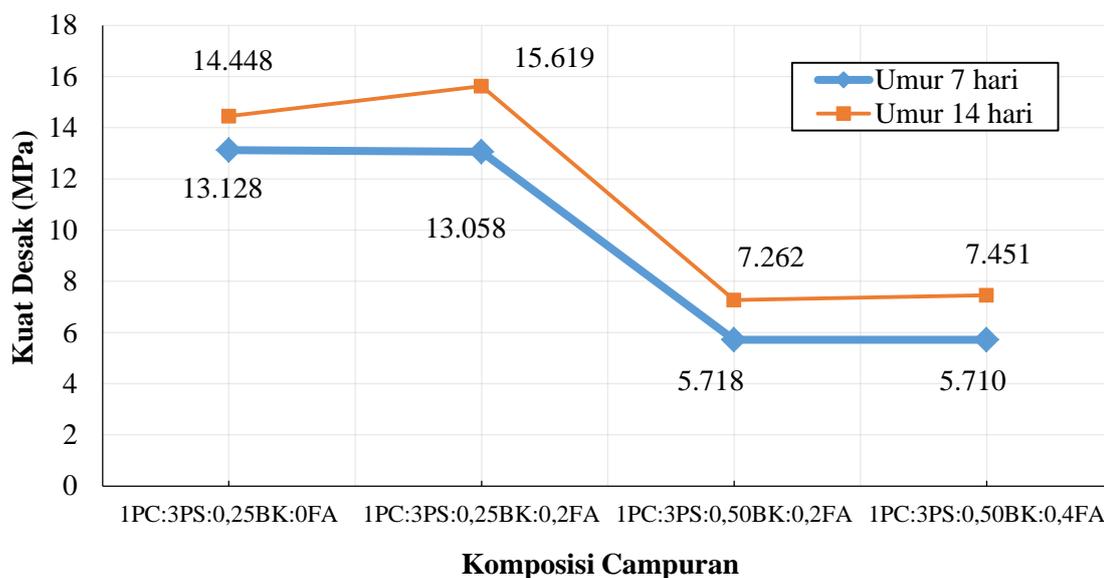
No	Komposisi Campuran	Beban Maksimum		Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
		kgf	Newton			
1	1PC:3PS:0,25BK:0FA	4370	42869,7	2650	16,175	14,448
		3860	37866,6	2667	14,200	
		3760	36885,6	2697	13,677	
		4380	42967,8	2684	16,011	
		3420	33550,2	2618	12,816	
		3770	36983,7	2678	13,810	
2	1PC:3PS:0,25BK:0,2FA	4370	42869,7	2698	15,889	15,619
		4000	39240	2645	14,836	
		4920	48265,2	2676	18,039	
		3900	38259	2642	14,479	
		4140	40613,4	2672	15,200	
		4120	40417,2	2646	15,274	
3	1PC:3PS:0,50BK:0,2FA	1860	18246,6	2718	6,714	7,262
		1760	17265,6	2659	6,493	
		1850	18148,5	2648	6,853	
		2075	20355,75	2603	7,821	
		2060	20208,6	2623	7,704	
		2170	21287,7	2664	7,991	
4	1PC:3PS:0,50BK:0,4FA	1960	19227,6	2665	7,214	7,451
		2075	20355,75	2691	7,563	
		2000	19620	2705	7,252	
		2140	20993,4	2699	7,778	
		2090	20502,9	2717	7,546	
		2040	20012,4	2721	7,354	



Gambar 5.3 Kuat Tekan *Papercrete* Umur 14 Hari

Berdasarkan hasil pengujian sampel beton kertas dengan umur 14 hari didapatkan data nilai kuat tekan rata-rata tertinggi pada campuran variasi 1PC:3PS:0,25BK:0,2FA yang memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 15,619 MPa dan nilai kuat tekan rata-rata terendah adalah campuran variasi 1PC:3PS:0,50BK:0,2FA dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 7,262 MPa. Dari data tersebut pada umur 14 hari benda uji dengan penambahan *fly ash* sebesar 0,2 dari volume memiliki kuat desak yang lebih besar dari pada benda uji dengan komposisi (semen:pasir:bubur kertas) yang sama. Pada komposisi K1 (1PC:3PS:0,25BK:0FA) dengan K2 (1PC:3PS:0,25BK:0,2FA) terjadi kenaikan sebesar 8,10%. Sedangkan pada komposisi K3 (1PC:3PS:0,5BK:0,2FA) dengan K4 (1PC:3PS:0,5BK:4FA) terjadi kenaikan sebesar 2,60%.

Perbandingan Kuat tekan beton kertas (*papercrete*) pada umur 7 hari dan 14 hari dapat dilihat pada Gambar 5.4 serta rata-rata berat volume dari masing-masing komposisi dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut ini.



Gambar 5.4 Perbandingan Kuat Tekan *Papercrete* pada Umur yang Berbeda

Pada grafik di atas terlihat bahwa pada sampel benda uji pada umur 14 hari kuat desak dari beton kertas mengalami peningkatan dibandingkan dengan kuat desak pada umur 7 hari. Terlihat juga perbedaan kuat tekan yang terjadi pada komposisi *papercrete* selama umur perawatan 7 hari dan 14 hari, pada umur perawatan 7 hari dengan penambahan *fly ash* pada komposisi (semen:pasir:kertas) yang sama mendapatkan kuat tekan yang lebih rendah sedangkan pada umur perawatan 14 hari dengan penambahan *fly ash* pada komposisi (semen:pasir:kertas) yang sama mendapatkan kuat tekan yang lebih tinggi. Hal tersebut dapat disebabkan oleh air yang terkandung pada bubur kertas mempengaruhi panas hidrasi pada ikatan semen. Oleh sebab itu dilakukan perawatan pada umur 7 hari dan 14 hari untuk melihat perkembangan kuat tekan yang terjadi pada sampel *papercrete*, sehingga dapat menentukan kuat tekan yang maksimum. Pada penelitian ini pemilihan komposisi diperoleh dari sampel dengan kuat tekan tertinggi pada umur perawatan 14 hari yang nantinya akan digunakan sebagai komposisi dinding panel *papercrete*.

Tabel 5.15 Rata-rata Berat Volume dari Masing-masing Komposisi

No	Sampel	Umur	Kuat Tekan (MPa)	Berat Volume (gram/cm ³)	Berat Volume Rata-rata (gram/cm ³)
1	TM1	7	13,128	2,069	2,068
		14	14,448	2,066	
2	TM2	7	13,059	2,066	2,063
		14	15,619	2,060	
3	TM3	7	5,719	1,971	1,973
		14	7,262	1,974	
4	TM4	7	5,710	1,958	1,965
		14	7,451	1,972	

Berdasarkan Uraian di atas, terjadi penambahan kekuatan yang signifikan antara sampel berumur 7 hari dan 14 hari. Pada sampel TM2, benda uji pada umur 7 hari mendapatkan kuat tekan sebesar 13,059 MPa sedangkan pada umur 14 hari menghasilkan kuat tekan sebesar 15,619 MPa. Dari data berat volume rata-rata dari setiap komposisi TM1 sampai TM4 terlihat terjadi penurunan setiap dilakukan penambahan komposisi pada bubuk kertas dan *fly ash*. Hal tersebut terjadi karena pada volume yang sama dengan penambahan komposisi bahan yang memiliki berat volume lebih ringan yaitu bubuk kertas dan *fly ash* maka terjadi substitusi pada campuran sehingga didapatkan penurunan berat volume dari sampel. Dengan penambahan bubuk kertas pada komposisi campuran didapatkan sampel yang lebih ringan dari mortar normal campuran 1PC:3PS dengan berat volume rata-rata sebesar 2,300 gram/cm³. Terjadi penurunan berat volume sebesar 10,31%.

Dari hasil pengujian beton kertas, diambil campuran variasi perbandingan 1PC:3PS:0,25BK:0,2FA untuk pembuatan sampel panel dinding karena memiliki nilai kuat tekan rata-rata tertinggi selama pengujian. Variasi campuran tersebut akan digunakan untuk membuat benda uji dinding panel berupa sampel uji tekan, uji lentur, dan uji tarik diagonal (geser).

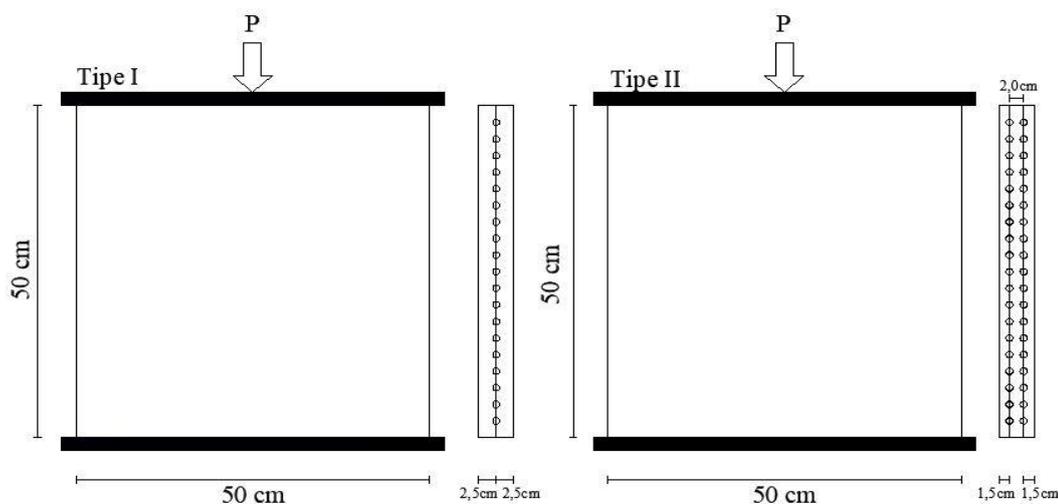
5.7 Hasil Pengujian Dinding

Pengujian dinding panel merupakan pengujian pada campuran mortar (semen:pasir) dengan bubuk kertas dan *fly ash* atau dalam penelitian ini disebut

beton kertas (*papercrete*) yang dicetak sedemikian rupa dengan penambahan *wire mesh* sebagai tulangan. Pengujian dinding panel dilakukan ketika benda uji berumur 28 hari, dengan perbandingan (semen:pasir:bubur kertas:*fly ash*) adalah 1:3:0,25:0,2.

5.7.1 Pengujian Kuat Tekan Dinding Panel

Pengujian kuat tekan dinding dilakukan untuk mengetahui mutu dinding ketika benda uji dibebani hingga terjadi keruntuhan. Kuat tekan dinding merupakan perbandingan antara gaya yang bekerja pada dinding persatuan luas penampang dinding yang tertekan. Pada pengujian kuat desak, benda uji berjumlah 6 buah yang berukuran 50 cm x 50 cm x 5 cm, 3 buah benda uji dengan satu lapisan kawat ditengah dan 3 buah benda uji dengan lapisan kawat rangkap. Berikut ini adalah gambar pengujian dinding panel dengan Tipe I dan Tipe II tersaji pada Gambar 5.5.



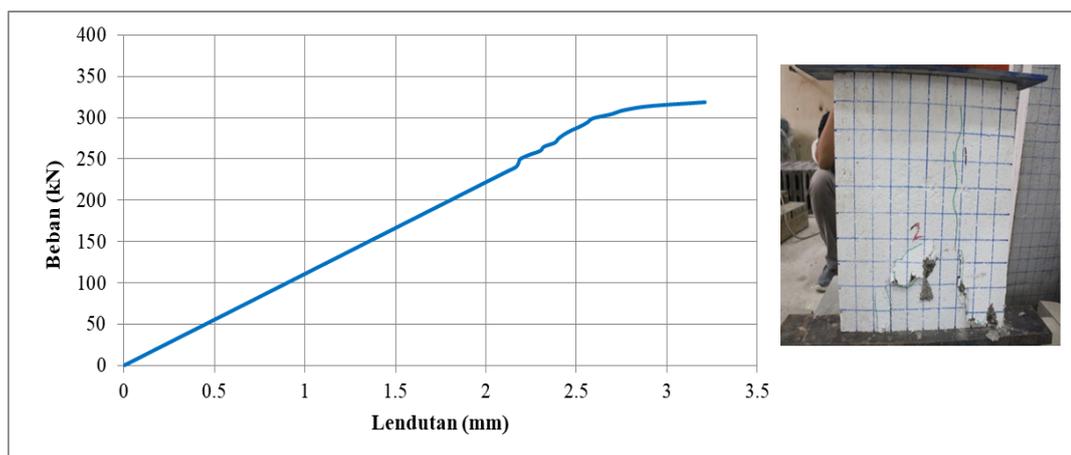
Gambar 5.5 Pengujian Tekan Dinding Panel Tipe I dan Tipe II

Dari pengujian tekan dinding panel didapatkan data beban maksimum dan besar lendutan yang terjadi sampai batas dinding mengalami keruntuhan. Data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan rumus yang terdapat pada Persamaan 3.14 untuk menghitung kuat tekan dinding. Hasil dari perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut.

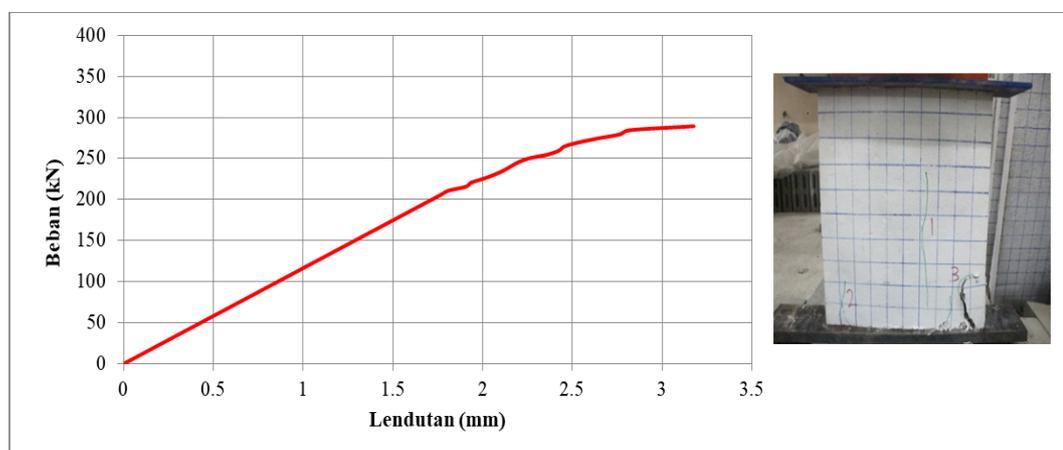
Tabel 5.16 Hasil Pengujian Kuat Tekan Dinding Tipe I

No	Benda Uji	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Luas Bidang Tekan (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
1	UD 1A	500	50,75	25375,00	315352,26	12,44	12,31
2	UD 1B	499	51,7	25798,30	280938,78	10,89	
3	UD 1C	499	52,35	26122,65	355190,67	13,60	

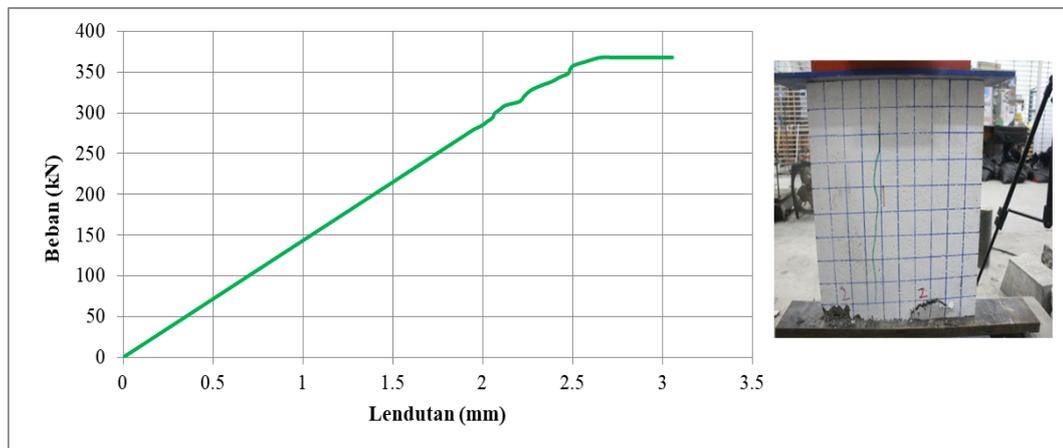
Dari hasil pengujian sampel panel dinding tipe I dengan perkuatan *wire mesh* tunggal didapatkan nilai kuat tekan maksimum pada benda uji UD 1C sebesar 13,60 MPa dengan kuat tekan rata-rata sebesar 12,31 MPa. Grafik beban-lendutan dapat dilihat pada Gambar 5.6 sampai Gambar 5.9 berikut ini.



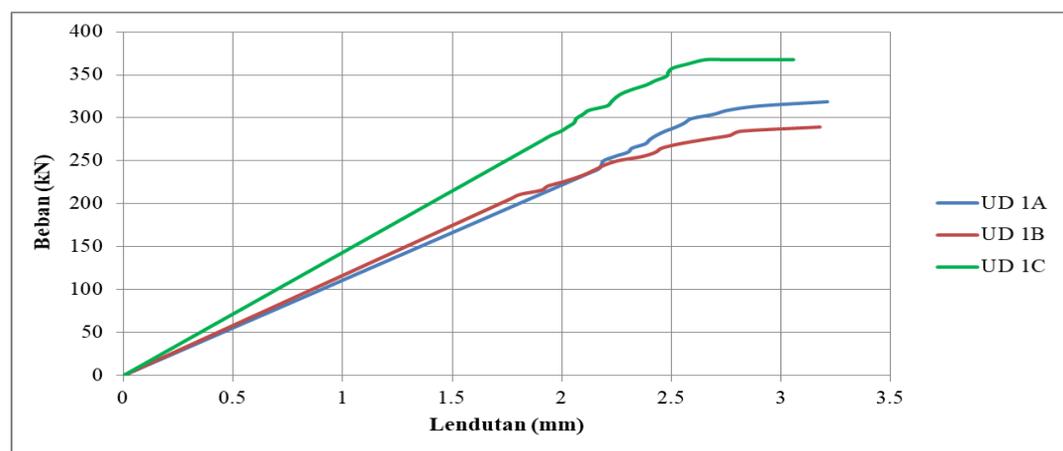
Gambar 5.6 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Dinding UD-1A



Gambar 5.7 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Dinding UD-1B



Gambar 5.8 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Dinding UD-1C



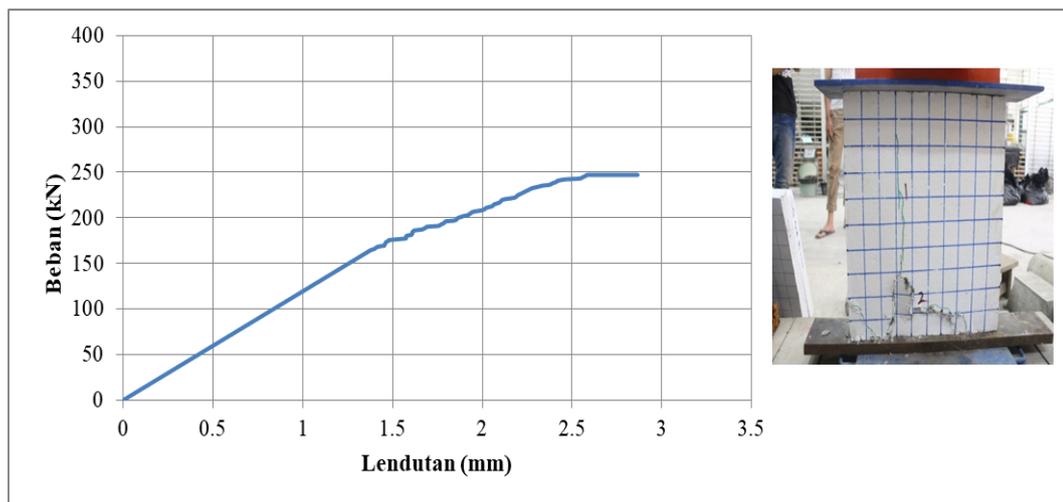
Gambar 5.9 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Dinding UD-1

Dari grafik diatas terlihat bahwa setiap benda uji memiliki pola grafik yang hampir sama. Pada benda uji UD 1A dan UD 1B kenaikan beban-lendutan yang terjadi hampir sama hingga beban sebesar 250 kN. Dari grafik pada Gambar 5.9 terlihat bahwa ketiga benda uji mengalami pola hubungan beban-lendutan yang relatif sama yaitu setelah terjadi retak pertama, benda uji tidak langsung mengalami keruntuhan dan masih dapat menahan beban. Dari gambar benda uji yang tertera pada grafik terlihat bahwa keretakan pertama terjadi pada tengah bidang kemudian retak menjalar pada ujung-ujung sampel hingga mencapai keruntuhan.

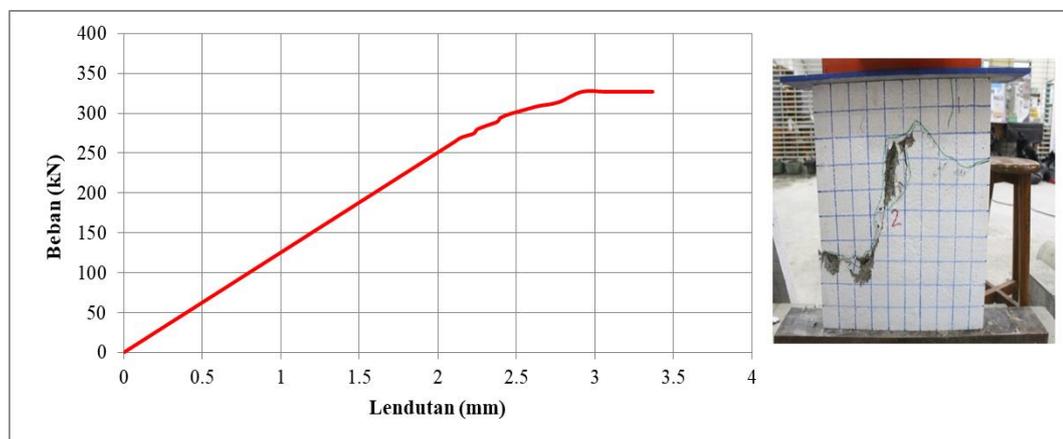
Tabel 5.17 Hasil Pengujian Kuat Tekan Dinding Tipe II

No.	Benda Uji	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Luas Bidang Tekan (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
1	UD 2A	500,5	51,95	26000,98	280566,00	10,79	11,15
2	UD 2B	502	52,3	26254,60	327094,83	12,46	
3	UD 2C	502,5	52,4	26331,00	268244,64	10,19	

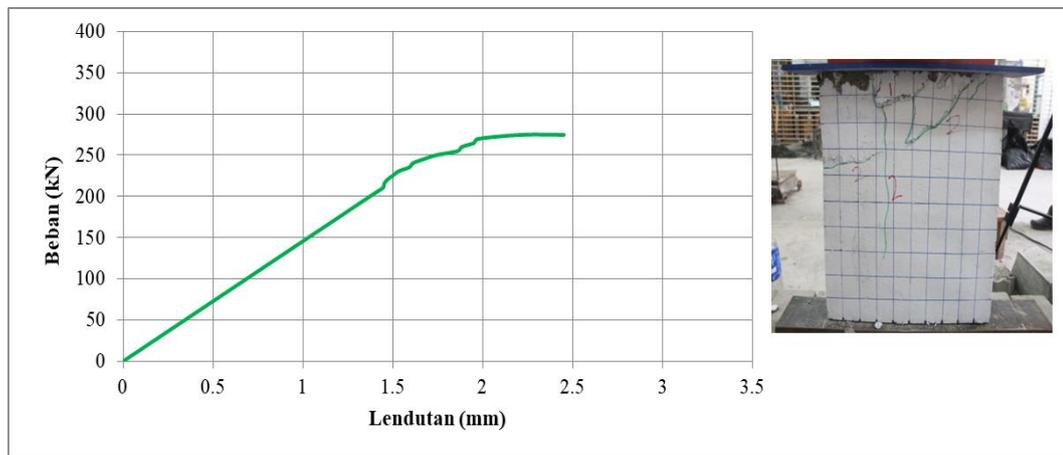
Dari hasil pengujian sampel panel dinding tipe II dengan perkuatan *wire mesh* rangkap didapatkan nilai kuat tekan maksimum pada benda uji UD 2B sebesar 12,46 MPa dengan kuat tekan rata-rata sebesar 11,15 MPa. Grafik beban-lendutan dapat dilihat pada Gambar 5.10 sampai Gambar 5.13 berikut ini.



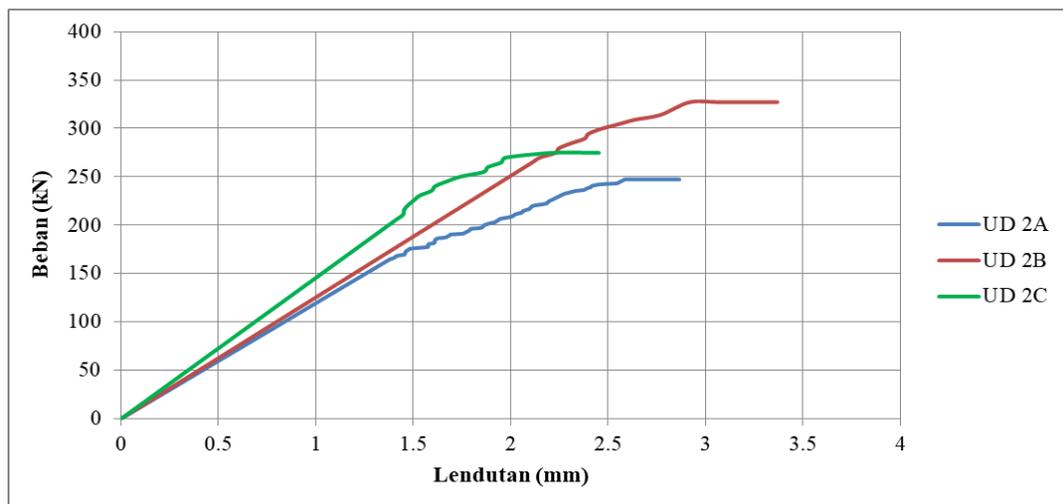
Gambar 5.10 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Dinding UD-2A



Gambar 5.11 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Dinding UD-2B



Gambar 5.12 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Dinding UD-2C



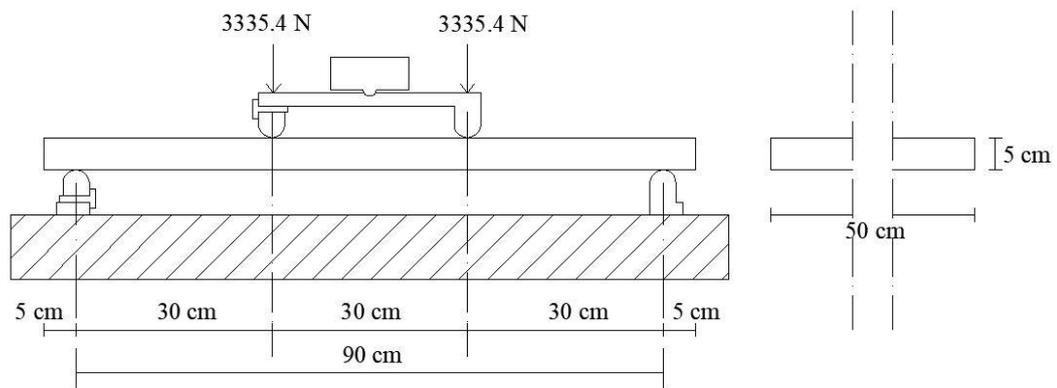
Gambar 5.13 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Dinding UD-2

Dari Grafik beban-lendutan dinding panel Tipe 2, terlihat memiliki pola grafik beban-lendutan yang relatif sama. Dari grafik ketiga sampel dinding panel *papercrete* Tipe 2 diatas, sampel UD 2B yang memiliki titik beban dan lendutan yang paling tinggi.

5.7.2 Pengujian Kuat Lentur Dinding

Pengujian kuat lentur panel dinding dilakukan ketika benda uji berumur 28 hari dengan jumlah benda uji sebanyak 6 buah berukuran 100cm x 50cm x 5cm, 3 buah benda uji dengan satu lapisan kawat ditengah dan 3 buah benda uji dengan lapisan kawat rangkap. Variasi campuran yang digunakan pada pembuatan sampel

dinding (pasir : semen : bubur kertas : *fly ash*) adalah 1:3:0,25:0,2. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kuat lentur maksimum dari panel dinding serta pengaruh penambahan kekuatan pada panel dinding dengan lapisan kawat tunggal dan dengan lapisan kawat rangkap. Pengujian Lentur dinding didasarkan pada SNI 03-4431-2011 yaitu uji lentur dengan dua titik pembebanan. Untuk sampel dengan pola retak di tengah bentang digunakan Persamaan 3.8 sedangkan untuk sampel dengan pola retak di luar 1/3 bentang digunakan Persamaan 3.9. Perletakan benda uji dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut ini.



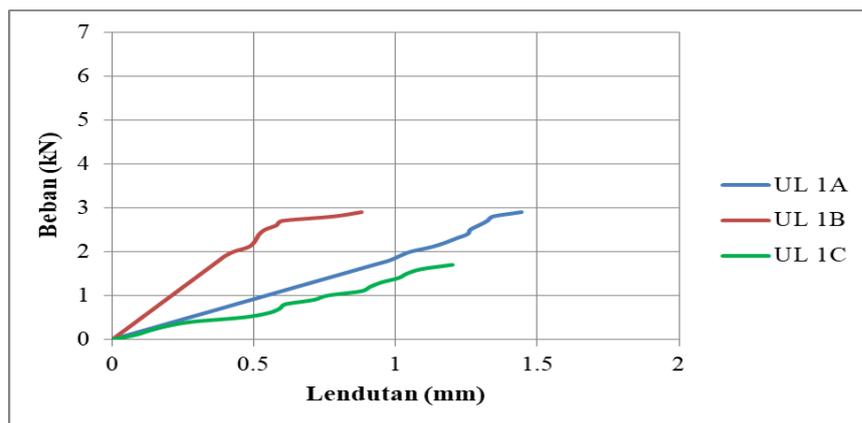
Gambar 5.14 Benda Uji Lentur

Berdasarkan data pada Gambar 5.14 yaitu sampel UL 1A memiliki pola retak di tengah bentang maka dapat dihitung nilai kuat lentur dinding melalui Persamaan 3.8 dengan nilai berat alat bantu 393.381 N. Nilai kuat lentur yang diperoleh adalah 4,553 MPa. Dengan rumus yang sama hasil perhitungan dari sampel secara keseluruhan disajikan pada Tabel 5.18 berikut ini.

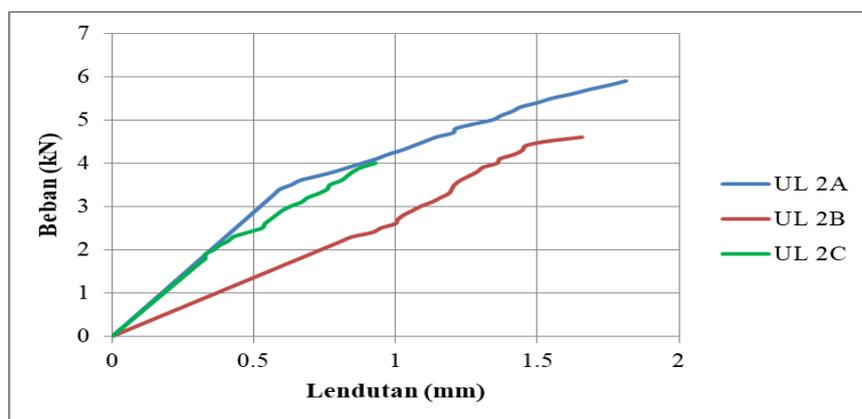
Tabel 5.18 Hasil Pengujian Kuat Lentur Dinding

No.	Benda Uji	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Beban Maksimum (N)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur (MPa)	Keterangan
1	UL 1A	999,5	500,5	51,33	6670,8	4,553	2,543	retak pusat
2	UL 1B	999,5	501,5	51,59	6897	1,550		retak luar
3	UL 1C	100,2	502,5	52,21	6970	1,527		retak luar
4	UL 2A	999,5	506	54,30	6310	3,806	3,573	retak pusat
5	UL 2B	1000,5	503	54,30	6383	3,873		retak pusat
6	UL 2C	1001,5	506,5	52,80	4769	3,040		retak pusat

Dari hasil pengujian sampel dinding didapat nilai kuat lentur tertinggi pada sampel panel dinding Tipe I pada benda uji UL 1A sebesar 4,553 MPa dengan beban maksimum 6670,8 N dan kuat lentur rata-rata dari 3 benda uji sebesar 2,543 MPa. Sedangkan hasil pengujian sampel panel dinding tipe II diperoleh kuat lentur maksimum pada benda uji UL 2B dengan nilai kuat lentur sebesar 3,873 MPa dengan beban maksimum 6383 N dan rata-rata dari 3 benda uji adalah 3,573 MPa. Nilai kuat lentur pada sampel panel dinding yang diperkuat dengan kawat *wire mesh* rangkap mengalami peningkatan 40,5% dari sampel panel dinding dengan perkuatan kawat tunggal. Data yang diperoleh dari pengujian yang berupa data beban dan lendutan dapat digambarkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 5.14 dan Gambar 5.15 berikut.



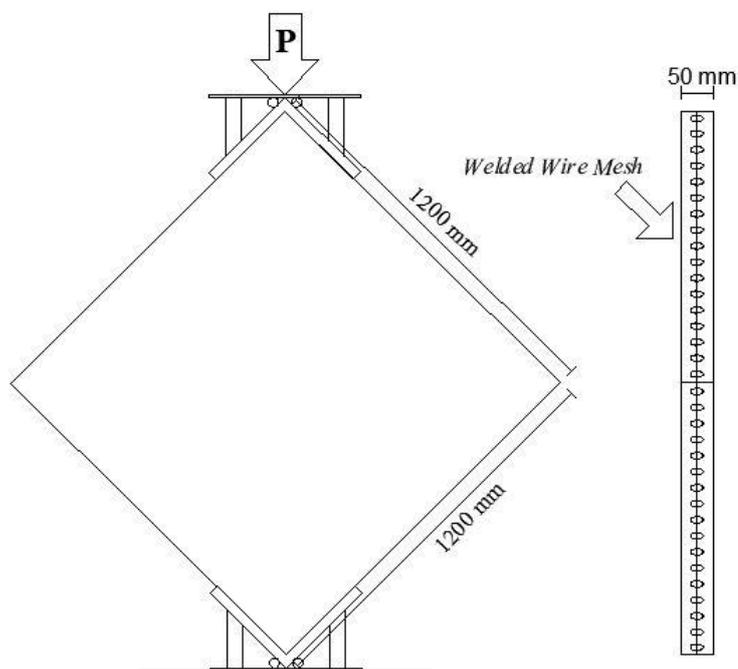
Gambar 5.15 Grafik Hubungan Beban-Lendutan pada Pengujian Kuat Lentur Dinding Tipe I



Gambar 5.16 Grafik Hubungan Beban-Lendutan pada Pengujian Kuat Lentur Dinding Tipe II

5.7.3 Kuat Tarik Diagonal (Geser)

Pengujian kuat geser diagonal dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari, sampel berupa dinding dengan ukuran $(120 \times 120 \times 5) \text{ cm}^3$ yang berjumlah 6 buah dengan 3 buah sampel dinding panel Tipe I dengan perkuatan *wire mesh* tunggal dan 3 buah sampel dinding panel Tipe II dengan perkuatan *wire mesh* rangkap. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan kuat tarik diagonal (geser) maksimum yang terjadi pada sampel dinding panel Tipe I dan Tipe II, dengan komposisi campuran (semen : pasir : bubuk kertas : *fly ash*) adalah 1:3:0,25:0,2. Dari hasil pengujian ini didapatkan data berupa beban maksimum dan besar lendutan yang terjadi, kemudian data tersebut dapat dianalisis menggunakan rumus ASTM E519-02 dan SNI 03-4166-1996. Berikut ini contoh skema pembebanan pada pengujian kuat geser diagonal dari sampel dinding *papercerete* dengan variasi Tipe I dan Tipe II terlihat pada Gambar 5.17 berikut.



Gambar 5.17 Benda Uji Tarik Diagonal (Geser)

Bedasarkan Gambar 5.17 dapat dihitung nilai kuat geser diagonal dinding melalui Persamaan 3.10 untuk ASTM E519-02 dan Persamaan 3.12 untuk SNI 03-4166-1996. Dengan nilai beban maksimum (P) yang terjadi, ukuran benda uji

(120x120x5) cm³, serta nilai koefisien friksi (μ) sebesar 0,3 untuk semua perhitungan sampel dan dengan menggunakan persamaan yang sama, kuat geser diagonal dapat diketahui. Hasil dari semua perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.19 dan Tabel 5.20 di bawah ini.

Tabel 5.19 Hasil Kuat Geser Diagonal SNI 03-4166-1996

No.	Benda Uji	Dimensi			An (cm ²)	Berat Alat Bantu (kg)	Beban Maksimum (kgf)	Kuat Geser (MPa)	Kuat Geser Rata-rata (MPa)
		Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)					
1	UG 1A	120,3	120,5	5,065	609,83	40,1	13660	1,091	1,236
2	UG 1B	120,3	120,3	5,1	613,53	40,1	16831	1,336	
3	UG 1C	120,2	120,35	5,13	617,01	40,1	16242	1,282	
4	UG 2A	120,2	120,5	5,145	619,20	40,1	22200	1,744	1,814
5	UG 2B	120,45	120,4	5,185	624,40	40,1	21500	1,675	
6	UG 2C	120,5	120,45	5,185	624,66	40,1	26000	2,024	

Dengan data tersebut dapat dihitung kuat geser dinding menggunakan Persamaan 3.12 seperti di bawah ini.

$$\text{Panjang (w)} = 120,3 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar (h)} = 120,5 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal (t)} = 5,065 \text{ cm}$$

$$\text{Beban maksimum (P)} = 13660 \text{ kgf}$$

$$\text{Koefisien friksi } (\mu) = 0,3$$

$$\text{Berat alat bantu (M)} = 40,1 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Tampang bersih (An)} &= \left(\frac{w+h}{2} \right) \times t \\ &= \left(\frac{120,3+120,5}{2} \right) \times 5,065 \\ &= 609,83 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Kuat Geser } (\tau) = \left(\frac{0,707 Pu + M}{An} \right) \times (1 - \mu)$$

$$\begin{aligned}
&= \left(\frac{0,707 \times 13660 + 40,1}{609,83} \right) \times (1 - 0,3) \\
&= 11,132 \text{ kg/cm}^2 \\
&= 1,091 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan menggunakan rumus SNI 03-4166-1996, sampel dinding panel *papercrete* Tipe I (UG 1A-1C) memiliki kuat geser diagonal lebih kecil daripada sampel dinding Tipe II (UG 2A-2C). Rata-rata sampel dinding Tipe I memiliki kuat geser diagonal sebesar 1,236 MPa dengan kuat geser terbesar pada sampel UG 1B yaitu 1,336 MPa. Sedangkan sampel yang memiliki kuat geser terkecil adalah UG 1A yang hanya menghasilkan beban maksimum sebesar 13660 kgf. Pada pengujian sampel kuat geser diagonal Tipe II, kuat geser terbesar dimiliki oleh sampel UG 2C sebesar 2,024 MPa. Dari 3 sampel dinding Tipe II rata-rata kuat geser diagonal yang didapatkan sebesar 1,814 MPa. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa sampel Tipe II dengan perkuatan *wire mesh* rangkap memiliki kenaikan kuat geser diagonal sebesar 46,764% dibandingkan sampel panel dinding *papercrete* dengan perkuatan *wire mesh* tunggal.

Tabel 5.20 Hasil Kuat Geser Diagonal ASTM E519-02

No.	Benda Uji	Dimensi			An (mm ²)	Beban Maksimum (kgf)	Kuat Geser (MPa)	Kuat Geser Rata-rata (MPa)
		Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)				
1	UG 1A	1203	1205	50,65	60982,6	13660	1,554	1,761
2	UG 1B	1203	1203	51	61353,0	16831	1,903	
3	UG 1C	1202	1203,5	51,3	61701,075	16242	1,826	
4	UG 2A	1202	1205	51,45	61920,075	22200	2,487	2,587
5	UG 2B	1204,5	1204	51,85	62440,363	21500	2,388	
6	UG 2C	1205	1204,5	51,85	62466,288	26000	2,887	

Contoh perhitungan :

$$\text{Panjang (w)} = 1203 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar (h)} = 1205 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal (t)} = 50,65 \text{ mm}$$

$$\text{Beban maksimum (P)} = 13660 \text{ kgf}$$

$$\text{Persen daerah bruto (n)} = 1$$

Dengan data di atas dapat dihitung kuat geser dinding melalui persamaan 3.10 dan 3.11 berikut ini.

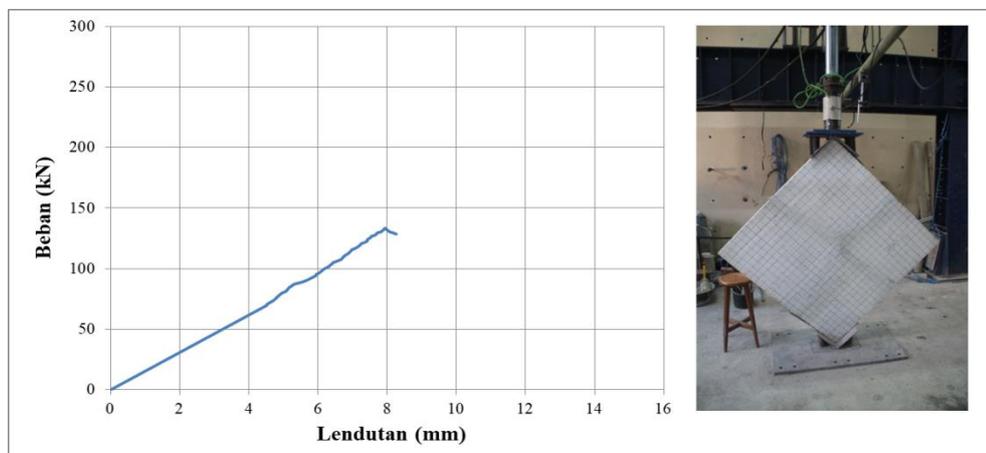
$$\begin{aligned} \text{Tampang bersih (An)} &= \left(\frac{w+h}{2} \right) \times t \times n \\ &= \left(\frac{1203 + 1205}{2} \right) \times 50,65 \times 1 \\ &= 60982,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Geser } (\tau) &= \left(\frac{0,707 \times P}{An} \right) \\ &= \left(\frac{0,707 \times 13660 \times 9,81}{60982,6} \right) \\ &= 1,554 \text{ MPa} \end{aligned}$$

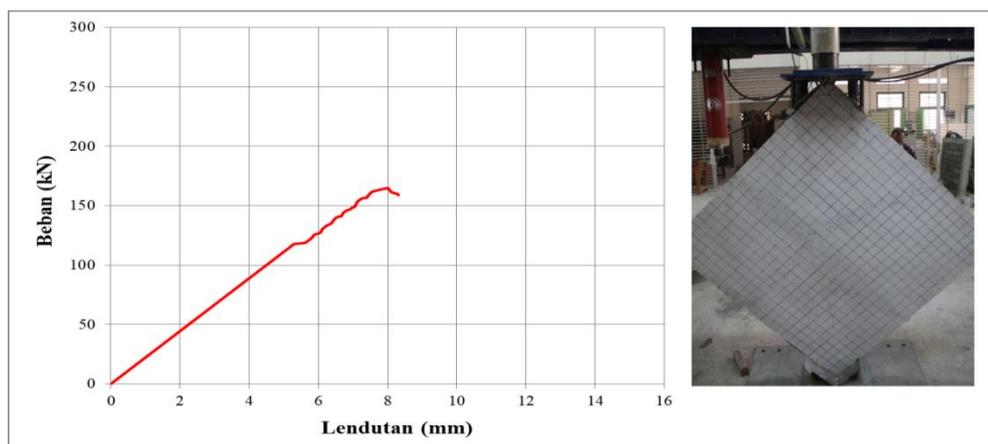
Dari hasil perhitungan menggunakan rumus ASTM E519-02, sampel dinding panel *papercrete* Tipe I (UG 1A-1C) memiliki rata-rata kuat geser diagonal lebih kecil daripada sampel dinding Tipe II (UG 2A-2C). Rata-rata sampel dinding Tipe I memiliki kuat geser diagonal sebesar 1,761 MPa dengan kuat geser terbesar pada sampel UG 1B yaitu 1,903 MPa. Sedangkan sampel yang memiliki kuat geser terkecil adalah UG 1A yang hanya menghasilkan kuat geser diagonal sebesar 1,554 MPa. Pada pengujian sampel kuat geser diagonal Tipe II, dari 3 sampel dinding panel rata-rata didapatkan kuat geser diagonal sebesar 2,587 MPa. Kuat geser diagonal terbesar pada sampel UG 2C yaitu 2,887 MPa. Sedangkan sampel yang memiliki kuat geser terkecil adalah UG 2B yang hanya menghasilkan kuat geser diagonal sebesar 2,388 MPa. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa sampel Tipe II dengan perkuatan *wire mesh* rangkap memiliki kenaikan kuat geser diagonal sebesar 46,905% dibandingkan sampel Tipe I dengan perkuatan *wire mesh* tunggal.

Berdasarkan hasil pengujian 6 sampel benda uji geser diagonal yang terdiri dari 3 sampel dengan variasi Tipe I dan 3 sampel Tipe II didapatkan hasil yang

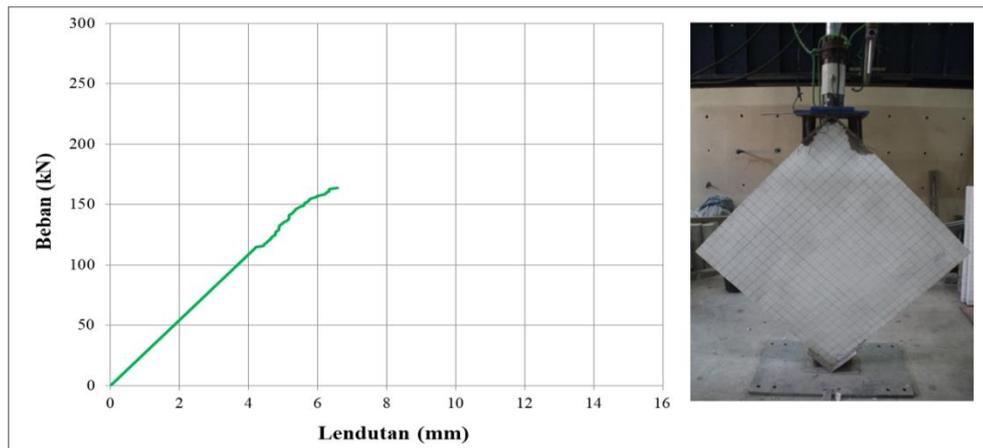
berbeda dari penggunaan rumus SNI 03-4166-1996 dan ASTM E519-02. Pada SNI 03-4166-1996 dinding panel Tipe I menghasilkan kuat geser diagonal rata-rata sebesar 1,236 MPa sedangkan ASTM E519-02 sebesar 1,761 MPa. Hal tersebut menunjukkan adanya deviasi sebesar 42,476%. Pada SNI 03-4166-1996 dinding panel Tipe II menghasilkan kuat geser diagonal rata-rata sebesar 1,814 MPa sedangkan ASTM E519-02 sebesar 2,587 MPa. Hal tersebut menunjukkan adanya deviasi sebesar 42,613%. Perbedaan tersebut disebabkan karena adanya tinjauan koefisien friksi pada SNI 03-4166-1996.



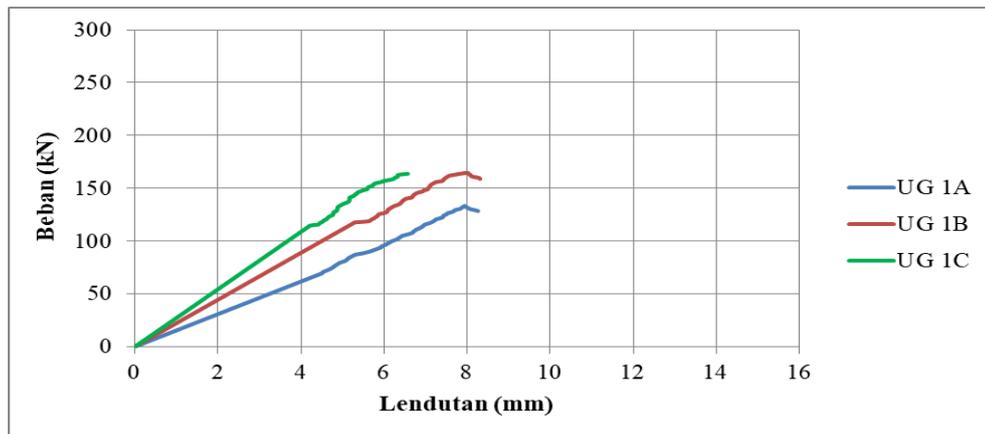
Gambar 5.18 Grafik Hubungan Beban-Lendutan pada Pengujian Geser Diagonal Dinding UG 1A



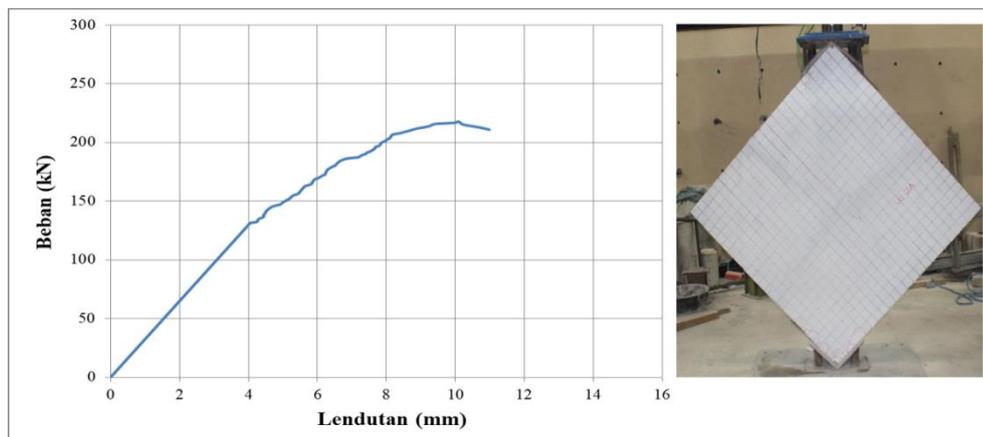
Gambar 5.19 Grafik Hubungan Beban-Lendutan pada Pengujian Geser Diagonal Dinding UG 1B



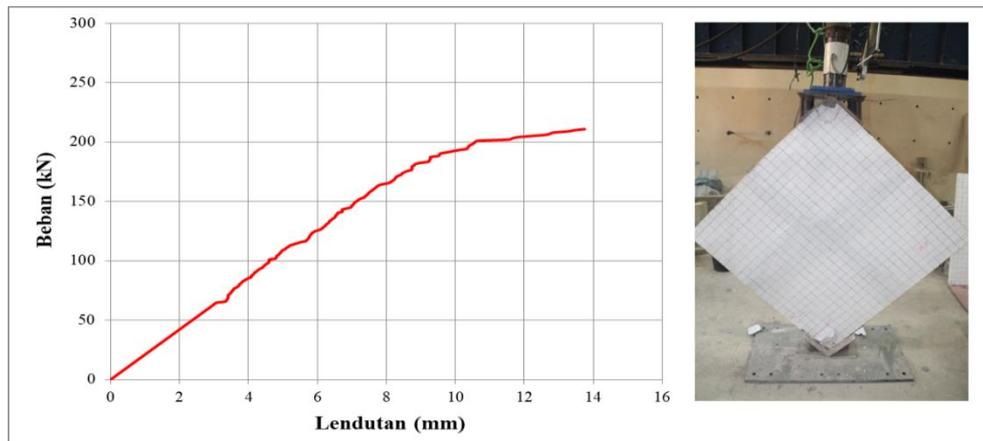
Gambar 5.20 Grafik Hubungan Beban-Lendutan pada Pengujian Geser Diagonal Dinding UG 1C



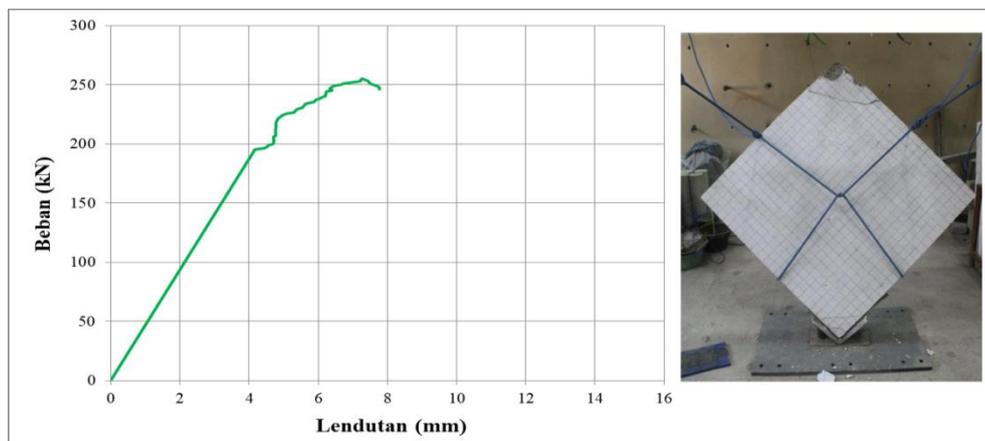
Gambar 5.21 Grafik Hubungan Beban-Lendutan pada Pengujian Geser Diagonal Dinding Panel Tipe I



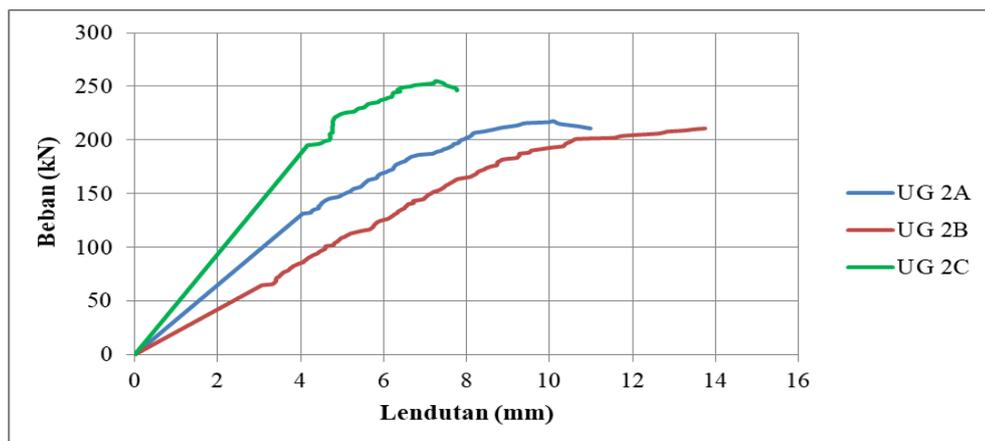
Gambar 5.22 Grafik Hubungan Beban-Lendutan pada Pengujian Geser Diagonal Dinding UG 2A



Gambar 5.23 Grafik Hubungan Beban-Lendutan pada Pengujian Geser Diagonal Dinding UG 2B



Gambar 5.24 Grafik Hubungan Beban-Lendutan pada Pengujian Geser Diagonal Dinding UG 2C



Gambar 5.25 Grafik Hubungan Beban-Lendutan pada Pengujian Geser Diagonal Dinding Panel Tipe II

5.8 Pembahasan

5.8.1 Kuat Tekan Beton Kertas (*Papercrete*)

Pada pengujian kuat tekan beton kertas (*papercrete*), didapatkan kuat tekan maksimum pada campuran 1PC:3PS:0,25BK:0FA dengan nilai kuat tekan sebesar 13,128 MPa untuk sampel dengan umur 7 hari sedangkan untuk sampel berumur 14 hari didapatkan nilai kuat tekan tertinggi pada campuran 1PC:3PS:0,25BK:0,2FA sebesar 15,619 MPa. Dari hasil tersebut beton *papercrete* termasuk dalam kategori beton struktural ringan dengan kuat tekan antar 6,89-17,27 MPa menurut SNI 03-3449-2002. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, nilai kuat tekan akan mengalami penurunan pada saat campuran diberikan penambahan bubuk kertas. Hal tersebut terjadi karena semakin banyak bubuk kertas yang dicampurkan, maka air yang terdapat pada campuran akan semakin banyak, sehingga dapat mempengaruhi ikatan semen pada campuran. Menurut Neville (1995) dalam Widjaja (2008) menyebutkan ikatan unsur semen C_3S (trikalsium silikat) dan C_2S (dikalsium silikat) dengan air akan menghasilkan kalsium silika hidrat (CSH) akan berkurang sifat kerasnya ketika dicampurkan bubuk kertas banyak ini disebabkan oleh bubuk kertas menyerap air. Dari kutipan di atas dapat diketahui bahwa kadar air dari bubuk kertas harus diperhatikan, sehingga didapatkan bubuk kertas dengan komposisi kertas : air yang optimal sehingga tidak ada kekurangan atau kelebihan air pada bubuk kertas yang mengganggu f.a.s pada campuran beton kertas. Namun, penambahan komposisi bubuk kertas akan berpengaruh terhadap berat volume beton. Semakin tinggi prosentase penambahan bubuk kertas pada campuran, maka semakin rendah berat volume dari beton kertas. Pada pengujian ini juga terjadi kenaikan kuat tekan pada campuran yang dipengaruhi oleh penambahan komposisi *fly ash*, ini disebabkan oleh material *fly ash* yang memiliki kemiripan dengan sifat semen. Kemiripan ini dapat ditinjau dari sifat fisik dan kimiawinya. Secara fisik, material *fly ash* memiliki kehalusan butir yang hampir sama dengan semen. Hal tersebut menguntungkan karena *fly ash* dapat mengisi rongga dalam campuran, sehingga pori dalam beton akan semakin rapat. Dengan semakin kecilnya pori dalam campuran *papercrete*, maka daya serap air akan semakin rendah, ini akan

mengurangi dampak dari kertas sebagai bahan campuran beton. Menurut Lianasari dan Paiding (2013) menyebutkan pada beton kertas keuntungan penggunaan *fly ash* adalah mempertinggi daya tahan terhadap lingkungan yang bersifat agresif, meningkatkan kerapatan beton, mengurangi penyusutan, mengurangi pengembangan yang disebabkan oleh reaksi alkali agregat. Dari pernyataan tersebut maka beton kertas lebih baik untuk dijadikan sebagai dinding partisi bangunan. Sifat kimiawi yang dimiliki *fly ash* berupa material *silica* dan *alumina* ketika dicampurkan pasta semen akan bereaksi yang kemudian akan menambah mutu dari beton itu sendiri. Pasir sebagai bahan utama pengisi campuran juga memiliki pengaruh pada kuat tekan beton kertas. Pasir yang baik memiliki gradasi dengan ukuran yang variatif, dengan begitu dapat mengurangi rongga udara sehingga kebutuhan semen dan air dapat ditekan. Dari hasil yang didapatkan, dengan penambahan bubuk kertas pada komposisi beton kertas sebesar 0,25 dan 0,50 dengan perbandingan volume diperoleh pengurangan berat volume sampel sebesar 10,310% dan 14,235%. Dari hasil tersebut dapat diketahui penambahan bubuk kertas dapat mengurangi berat volume sampel. Penambahan *fly ash* pada komposisi (1PC:3PS:0,25BK:0FA) dan (1PC:3PS:0,25BK:0,2FA) sebesar 0,2 perbandingan volume menghasilkan kenaikan kuat tekan sebesar 8,10 % sedangkan pada komposisi campuran (1PC:3PS:0,5BK:0,2FA) dan (1PC:3PS:0,5BK:0,4FA) dengan penambahan 0,2 *fly ash* dengan perbandingan volume didapatkan kenaikan kuat tekan sebesar 2,60%. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa dengan penambahan *fly ash* terjadi peningkatan kekuatan tekan beton.

5.8.2 Kuat Tekan Dinding

Dari hasil pengujian kuat tekan sampel panel dinding tipe I dengan perkuatan *wire mesh* tunggal, didapatkan nilai kuat tekan maksimum pada benda uji UD 1C sebesar 13,60 MPa dengan kuat tekan rata-rata sebesar 12,31 MPa. Sedangkan pada pengujian sampel panel dinding tipe II dengan perkuatan *wire mesh* rangkap didapatkan nilai kuat tekan maksimum pada benda uji UD 2B sebesar 12,46 MPa dengan kuat tekan rata-rata sebesar 11,15 MPa. Dengan

penambahan perkuatan *wire mesh* pada sampel dinding *papercrete* tidak menunjukkan peningkatan yang signifikan pada saat pengujian tekan, ini disebabkan oleh arah pembebanan yang vertikal sehingga tidak ada pengaruh gaya pada material bahan kawat *wire mesh*. Dari hasil yang didapatkan, nilai kuat tekan pada sampel dinding Tipe I (*wire mesh* tunggal) lebih tinggi sebesar 10,40% dari sampel dinding panel Tipe II (*wire mesh* rangkap). Hal tersebut dapat disebabkan oleh kurangnya lekatan antara beton kertas dengan *wire mesh* pada sampel dinding dengan perkuatan kawat rangkap. Nilai kuat tekan maksimum yang diperoleh dari pengujian dinding panel sudah masuk dalam rencana tekan yang diinginkan untuk dinding struktur ringan yaitu antara 6,89 – 17,34 MPa menurut SNI 03-3449-2002.

5.8.3 Kuat Lentur Dinding

Dari hasil pengujian sampel dinding didapat nilai kuat lentur tertinggi pada sampel panel dinding Tipe I pada benda uji UL 1A sebesar 4,553 MPa dengan beban maksimum 6670,8 N dan kuat lentur rata-rata dari 3 benda uji sebesar 2,543 MPa. Sedangkan hasil pengujian sampel panel dinding tipe II diperoleh kuat lentur maksimum pada benda uji UL 2B dengan nilai kuat lentur sebesar 3,873 MPa dengan beban maksimum 6383 N dan rata-rata dari 3 benda uji adalah 3,573 MPa. Nilai kuat lentur pada sampel panel dinding yang diperkuat dengan kawat *wire mesh* rangkap mengalami peningkatan 40,5% dari sampel panel dinding dengan perkuatan kawat tunggal. Pada pengujian ini digunakan 2 tipe perletakan *wire mesh*, hal tersebut dilakukan untuk memenuhi persyaratan Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI 1971) pada pasal 9.2 ayat 2. PBI (1971) menyatakan “Pada dinding vertikal yang tidak memikul lentur dengan tebal kurang dari 12 cm, sebagai tulangnya dianjurkan jaring tulangan yang dipasang ditengah-tengah dinding. Pada dinding reservoir air, dinding ruang-ruang bawah tanah dan pada semua dinding yang lebih tebal dari 30 cm, senantiasa harus dipasang jaring tulangan rangkap.” Pada pengujian kuat lentur yang telah dilakukan ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perletakan *wire mesh* pada dinding Tipe I (tunggal) dan Tipe II (rangkap). Dari

analisis teoritis kapasitas tampang lentur dengan perletakan *wire mesh* Tipe I (tunggal) dan Tipe II (rangkap) didapatkan hasil beban maksimum sebesar 3,420 kN dan 5,136 kN lebih rendah dari hasil beban maksimum dari pengujian yang telah dilakukan pada dinding panel Tipe I dan Tipe II dengan rata-rata beban maksimum sebesar 6,845 kN dan 5,820 kN. Analisis perhitungan kapasitas *wire mesh* dapat dilihat pada Lampiran 4 dan Lampiran 5. Berikut ini adalah gambar panel dinding ketika mengalami lendutan akibat pembebanan terlihat pada Gambar 5.26.



Gambar 5.26 Lendutan Akibat Pembebanan

Dari pengujian ini menunjukkan bahwa penggunaan *wire mesh* rangkap pada dinding panel memberikan penambahan kuat lentur yang signifikan dibandingkan dengan penggunaan *wire mesh* tunggal. Hal ini disebabkan oleh perletakan *wire mesh* yang berbeda antara Tipe I (*wire mesh* tunggal) dengan Tipe II (*wire mesh* rangkap). Pada dinding panel *papercrete* Tipe I, *wire mesh* terletak tepat pada garis netral sehingga pengaruh gaya yang diberikan oleh kawat *wire mesh* tidak begitu besar. Sedangkan pada dinding panel Tipe II, letak *wire mesh* berada di atas dan di bawah garis netral sehingga tepat berada diantara beton kerdas yang mengalami bagian tekan dan tarik pada saat terjadi pembebanan. Oleh sebab itu, ada pengaruh gaya yang lebih besar diberikan *wire mesh* pada benda uji saat terjadi lendutan akibat pembebanan. Pada saat pembebanan, panel dinding komposit kawat-*papercrete* memikul beban bersama-sama terus menerus seiring bertambahnya beban hingga terjadi deformasi. Pada sampel Tipe II, ada gaya yang

bekerja oleh *wire mesh* pada bagian desak walaupun tidak sebesar gaya pada bagian tarik. Hal ini disebabkan oleh sifat bahan kawat yang lebih kuat terhadap tarik dibandingkan dengan desak. Akibat deformasi, terjadi keretakan panel dinding pada bagian bawah yang mengalami tarik. Retak tersebut disebabkan oleh tegangan tarik beton kertas telah mencapai kekuatan modulus retaknya. Maka gaya kawat pada bagian tarik pada sampel dinding yang bekerja lebih besar, disinilah perletakan kawat *wire mesh* memiliki andil yang penting. Sedangkan pada bagian tekan, beton kertas memiliki pengaruh yang lebih signifikan dari pada kawat *wire mesh*.

5.8.4 Kuat Tarik Diagonal (Geser) Dinding

Pengujian kuat tarik diagonal (kuat geser) merupakan konsep permodelan untuk mengetahui perilaku struktur ketika mendapatkan beban lateral serta menggambarkan pola keruntuhan yang terjadi akibat adanya kontak antara dinding dan struktur yang mengelilinginya, sehingga menghasilkan pola keruntuhan tertentu. Sudut-sudut merupakan salah satu daerah runtuh pada dinding ketika menerima beban lateral diakibatkan oleh struktur rangka yang menekan pada bagian ujung-ujungnya. Dari hasil perhitungan pada sampel panel dinding Tipe I (*wire mesh* tunggal) didapatkan kuat geser diagonal maksimum pada benda uji UG 1B sebesar 1,903 MPa dengan beban maksimum 16831 kgf, dan rata-rata kuat geser diagonal 3 benda uji sebesar 1,761 MPa. Sedangkan hasil perhitungan dari sampel dinding Tipe II (*wire mesh* rangkap) didapatkan kuat geser diagonal maksimum pada benda uji UG 2C dengan kuat geser diagonal sebesar 2,887 MPa dengan beban sebesar 26000 kgf, dan rata-rata kuat geser diagonal dari 3 benda uji sebesar 2,587 MPa. Nilai kuat geser diagonal pada sampel Tipe II mengalami peningkatan sebesar 46,94% dari pada sampel Tipe I. Gambar pola keretakan pada pengujian geser diagonal dapat dilihat pada Gambar 5.27 berikut ini.



Gambar 5.27 Hasil Retakan pada Benda Uji Geser Diagonal



Gambar 5.28 Retak pada Bagian Bawah Sampel Uji Geser Diagonal

Pada saat pengujian panel dinding komposit *papercrete-wire mesh* ketika diberi beban yang terus bertambah, pada daerah tekan mengalami retak pertama. Retak pertama ini terjadi pada bagian ujung sampel yang diberi pembebanan. Ketika pembebanan semakin meningkat maka kerentakan yang terjadi semakin melebar di daerah sudut ujung tekan sampel hingga sampel mencapai batasnya kemudian runtuh. Benda uji Tipe II memiliki titik runtuh yang lebih tinggi daripada Tipe I ketika diberi pembebanan. Dari pengujian ini membuktikan bahwa penambahan *wire mesh* rangkap pada sampel panel dinding memberikan pertambahan kekuatan dan daktilitas ketika mengalami beban lateral dibandingkan dengan *wire mesh* tunggal. Akan tetapi hasil yang didapatkan belum

maksimum karena adanya beberapa faktor yang mempengaruhi, seperti pengujian yang belum sesuai dengan ASTM E519-02. Pada pengujian yang diisyaratkan ASTM E519-02, seharusnya pelat sepatu bagian ujung-ujung pembebanan memiliki pelat penahan yang mengapit setebal sampel dinding sehingga tidak terjadi eksentrisitas pada saat dilakukan pembebanan yang nantinya dapat menyebabkan buckling. Dari pengujian yang telah dilakukan terlihat bagian ujung tekan dari sampel yang hanya mengalami keretakan. Pada semua benda uji Tipe I dan Tipe II, hanya terjadi keretakan pada bagian ujung tumpuan benda uji dan tidak ada retakan diagonal yang terjadi. Hal ini menandakan bahwa benda uji mengalami kegagalan guling sebelum kekuatan maksimum dapat dicapai. Pengujian sampel sesuai ASTM E519-02 dapat dilihat pada Gambar 5.29 di bawah ini.



Gambar 5.29 Pengujian Sesuai ASTM E519-02

(Sumber: ASTM E519-02, 2002)