

PERILAKU LENTUR DINDING PANEL JARING KAWAT BAJA TIGA DIMENSI DENGAN VARIASI RASIO TINGGI DAN LEBAR (Hw/Lw) TERHADAP BEBAN LATERAL STATIK

Gingga Molidan, Indradi Wijatmiko, Siti Nurlina
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: ginggamolidan@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan jumlah penduduk yang meningkat secara signifikan tiap tahun tidak diimbangi dengan banyaknya penyedia hunian yang layak secara teknis maupun ekonomis menyebabkan terjadinya masalah *backlog* dalam dunia konstruksi hunian di Indonesia. Berkaitan dengan upaya pemenuhan kebutuhan bangunan tempat tinggal dalam skala besar tersebut menuntut adanya inovasi dalam hal material, kualitas, maupun proses pelaksanaannya sehingga diharapkan pembangunan dapat dilaksanakan secara efektif, efisien, serta ekonomis. Salah satu inovasi yang sedang berkembang adalah dinding panel jaring kawat baja tiga dimensi.

Rasio tinggi dan lebar (Hw/Lw) pada dinding akan mempengaruhi bagaimana perilaku dinding tersebut dalam menerima beban lateral. Pada perbedaan rasio tersebut nantinya akan dapat dilihat pada dinding mana yang akan terjadi mekanisme kegagalan lentur yang dominan (*flexural dominant*) dan perilaku lentur yang dominan (*flexural behaviour*).

Pada penelitian ini digunakan tiga variasi rasio tinggi dan lebar (Hw/lw) dinding panel jaring kawat baja tiga dimensi yaitu dengan ukuran 60 cm x 60 cm (Hw/lw=1), ukuran 90 cm x 60 cm (Hw/Lw=1,5), dan ukuran 120 cm x 60 cm (Hw/Lw=2). Tebal dinding sama yaitu 15 cm dengan EPS dan *wiremesh* dengan tebal total 8 cm dan plesteran beton 7 cm. Pengujian beban lateral statik (*static load test*) dilakukan dengan memberikan beban tiap 100 kg (*load control*) hingga mencapai beban maksimum dinding dan dilanjutkan dengan tahap *displacement control*. Pencatatan data dilakukan setiap tahap pembebanan yaitu pencatatan deformasi lateral total dan pengamatan mekanisme pola retak serta keruntuhan dinding (*failure mechanism*).

Hasil dari penelitian dan pembahasan data menjelaskan bahwa dinding dengan rasio tinggi dan lebar (Hw/Lw) ≤ 1 mampu menahan beban yang paling besar yaitu berkisar 3 sampai 4 ton lebih. Berdasarkan hasil perhitungan pendekatan dari deformasi lentur yang terjadi didapatkan bahwa dinding dengan rasio tinggi dan lebar (Hw/Lw) ≥ 2 memiliki nilai deformasi lentur yang paling besar. Selain itu timbulnya sendi plastis dan pola keretakan yang terjadi pada dinding dengan rasio ini termasuk mekanisme kegagalan akibat lentur sehingga dapat disimpulkan bahwa perilaku lentur (*flexural behaviour*) yang paling dominan terjadi pada dinding dengan rasio tinggi dan lebar (Hw/Lw) ≥ 2 .

Kata-kata kunci: Perilaku lentur, dinding panel jaring kawat baja tiga dimensi, rasio tinggi dan lebar (Hw/lw), beban lateral statik.

1. Pendahuluan

Perkembangan jumlah penduduk yang meningkat secara signifikan tiap tahun tidak diimbangi dengan banyaknya penyedia hunian yang layak secara teknis maupun ekonomis menyebabkan terjadinya masalah *backlog* dalam dunia konstruksi hunian di Indonesia. Berkaitan dengan upaya pemenuhan kebutuhan bangunan tempat tinggal dalam skala besar tersebut menuntut adanya inovasi dalam hal material, kualitas, maupun proses

pelaksanaannya sehingga diharapkan pembangunan dapat dilaksanakan secara efektif, efisien, serta ekonomis. Salah satu produk dari inovasi panel dinding yang baru, diproduksi oleh PT. M-Panel Indonesia. Material dinding tersebut sudah digunakan untuk konstruksi dinding rumah maupun gedung. Namun belum banyak penelitian di Indonesia mengenai panel dinding jaring kawat baja tiga dimensi ini. Dinding merupakan salah satu elemen konstruksi struktur bangunan

yang selain berfungsi sebagai pembatas/partisi juga dapat berfungsi sebagai penahan beban lateral (*in-plane*). Beban lateral tersebut biasanya berupa beban akibat getaran gempa. Dinding sangat kaku pada arah *in-plane* nya. Bila terkena getaran gempa yang tinggi, akan terjadi keretakan yang disertai dengan reduksi kekuatan dan kekakuannya (Key, 1998).

Dinding geser merupakan salah satu konsep penyelesaian masalah gempa dalam bidang Teknik Sipil. Hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dinding geser yaitu dinding geser tidak boleh runtuh akibat gaya geser karena fungsi utama dinding geser adalah untuk menahan gaya geser yang besar akibat gempa, sehingga apabila dinding geser tersebut runtuh akibat gaya geser itu sendiri, maka keseluruhan struktur akan runtuh karena tidak ada lagi yang dapat menahan gaya geser tersebut. Dinding geser hanya boleh runtuh akibat adanya momen plastis yang menyebabkan timbulnya sendi plastis pada bagian kakinya. Perilaku lentur tersebutlah yang diharapkan terjadi pada dinding geser sehingga aman diterapkan dalam konstruksi hunian.

Perilaku dinding dalam menerima beban biasanya terlihat pada mekanisme keruntuhan dinding yang diawali dengan timbulnya keretakan pada dinding, kemudian kelelahan tulangan dan proses runtuhnya. Rasio tinggi dan lebar (H_w/l_w) pada dinding akan mempengaruhi bagaimana perilaku dinding tersebut dalam menerima beban lateral. Pada perbedaan rasio tinggi dan lebar (H_w/l_w) dinding tersebut nantinya akan dapat dilihat pada dinding mana yang akan terjadi mekanisme kegagalan secara lentur. Dalam penelitian ini akan dibahas beban maksimum yang dapat ditahan oleh dinding panel, besar deformasinya dan perilaku lentur yang terjadi pada dinding tersebut.

2. Tinjauan Pustaka

Dinding panel jaring kawat baja merupakan sebuah lembaran material yang biasanya dibentuk atau dipotong menjadi persegi panjang, yang difungsikan sebagai dinding penghias, peredam suara, penahan panas serta dapat dikombinasikan dengan suatu bahan lain pendukung untuk menjaga keseragaman dalam penampilannya. Dinding panel jaring kawat baja dikatakan tiga dimensi karena pada kedua sisi muka dinding dilapisi oleh jaring kawat baja (wiremesh) yang telah digalvanis dimana satu sama lain sisi terhubung oleh kawat baja konektor sehingga membentuk suatu kesatuan bangun ruang.

2.1. Bahan Penyusun Dinding

a. *Expanded Polystyrene Foam (EPS)*

Expanded Polystyrene Foam (EPS) telah dipilih sebagai bahan penyusun dari dinding M-Panel. Seperti telah diketahui bahwa penggunaan *Expanded Polystyrene Foam (EPS)* merupakan salah satu pengembangan teknologi *sandwich* panel yang mengaplikasikan penggunaan bahan *polystyrene* sebagai salah satu komponen penyusunnya.

b. *Wiremesh*

Wiremesh yang digunakan dalam dinding M-panel telah dilas, terbuat dari kawat baja yang telah di galvanis yang diletakkan di kedua sisi panel polyfoam dan saling terhubung satu dengan yang lainnya. Diameter kawat yang digunakan bervariasi mulai dari 2,5 – 5 mm, dengan kekuatan tarik lebih besar dari 600Mpa

c. *Plesteran Beton*

Komposisi campuran plesteran beton yang digunakan adalah 1 PC : 4 PS, dengan faktor air semen $\leq 0,52$ sehingga mutu plesteran beton dianggap K 175 ($f'_c = 15 \text{ MPa}$).

2.2. Konsep Dinding Geser dan Keruntuhannya

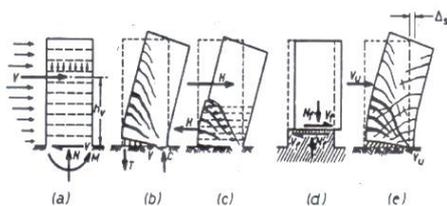
Dinding geser atau *shear wall* merupakan dinding yang dirancang untuk menahan gaya lateral akibat

gempa bumi. Bangunan yang memiliki dinding geser, gaya-gaya horizontal akibat angin atau gempa semata ditahan oleh dinding geser. Selain menahan gaya horizontal, dinding geser juga menahan gaya normal (gaya vertikal). Dinding geser berperilaku sebagai balok lentur kantilever. Oleh karena itu, dinding geser selain menahan gaya geser juga menahan gaya lentur. Dinding geser sebagai elemen penahan gaya lateral memiliki keuntungan utama karena menyediakan kontinuitas vertikal pada sistem lateral struktur gedung. Struktur gedung dengan dinding geser sebagai elemen penahan gaya lateral pada umumnya memiliki *performance* yang cukup baik pada saat gempa. Hal ini terbukti dari sedikitnya kegagalan yang terjadi pada sistem struktur dinding geser di kejadian-kejadian gempa yang lalu.

Menurut Pantazopoulou dan Imran, 1992, perilaku batas yang terjadi pada dinding geser dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- *Flexural behavior*
- *Flexural-shear behavior*
- *Shear behavior*

Untuk dinding geser yang tergolong *flexural wall* dimana rasio $h_w/l_w \geq 2$, kegagalan lain yang sering terjadi adalah berupa *fracture* (patah/putus) pada tulangan yang menahan tarik.

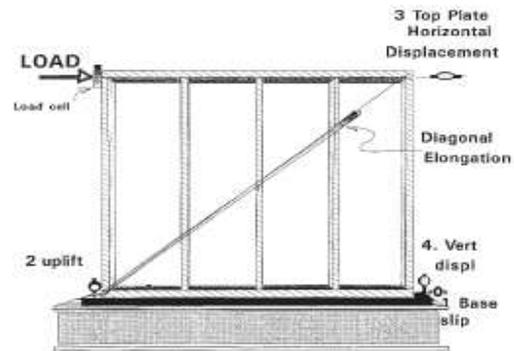


Gambar 2.1. Keruntuhan Dinding Geser Kantilever

2.3. Static Load Test (ASTM E 564)

Pada ASTM E 564 tentang *Standard Practice for Static Load Test for Shear Resistance of Framed Walls for Buildings*, terdapat pengertian, tata cara pengujian, serta perhitungan

mengenai pengujian beban statik pada dinding.



Gambar 2.2. Konfigurasi Pengujian Dinding Menurut ASTM E 564

2.4. Deformasi Lentur (Flexural Deformation)

Secara teoritis, kekakuan struktur adalah gaya yang diperlukan untuk menghasilkan satuan simpangan. Kekakuan ini diperoleh sebagai asumsi hubungan linier antara gaya dan simpangan, dimana $P = k \cdot \Delta$.

Kekakuan lateral dinding terdiri dari kekakuan lentur dan kekakuan geser, dapat dituliskan dalam persamaan dibawah ini

$$k = k_l + k_g$$

$$k = \frac{3EI}{L^3} + \frac{GA}{L}$$

Kekakuan lentur didapatkan dari persamaan $k = \frac{3EI}{L^3}$ dengan modulus elastisitas (E) didapat dari perhitungan berdasarkan berat isi dinding dan kuat tekan beton pada dinding. Sehingga berdasarkan referensi dari R. Park dan T. Paulay, digunakan rumus yaitu $E = w^{1.5} \cdot 33 \sqrt{f_c}$ (psi). Dimana w adalah berat isi dalam lb/ft^3 dan nilai momen inersia penampang diasumsikan komposit berlubang. Kekakuan geser teoritis didapatkan dari rumus $k = \frac{GA}{L}$, dimana G adalah modulus geser yang nilainya sama dengan $2/3$ modulus elastisitas (E). Sedangkan A adalah luas penampang dinding. Dalam penelitian ini pembahasan diutamakan pada deformasi lentur yang terjadi sehingga

$$\Delta fl = \frac{PL^3}{3EI}$$

3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini tergolong penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Objek dalam penelitian ini adalah dinding panel jaring kawat baja dengan variasi tinggi dibanding lebar sebesar 1 ;1,5 ; dan 2. Sedangkan pengujian dinding terhadap beban lateral statik dilakukan setelah beton berumur 14 hari dengan mutu $f'c$ 22,5 Mpa (beton normal) untuk balok sloof dan dengan mutu $f'c$ 15 Mpa untuk plesteran dinding.

3.1. Alat dan Bahan Penelitian

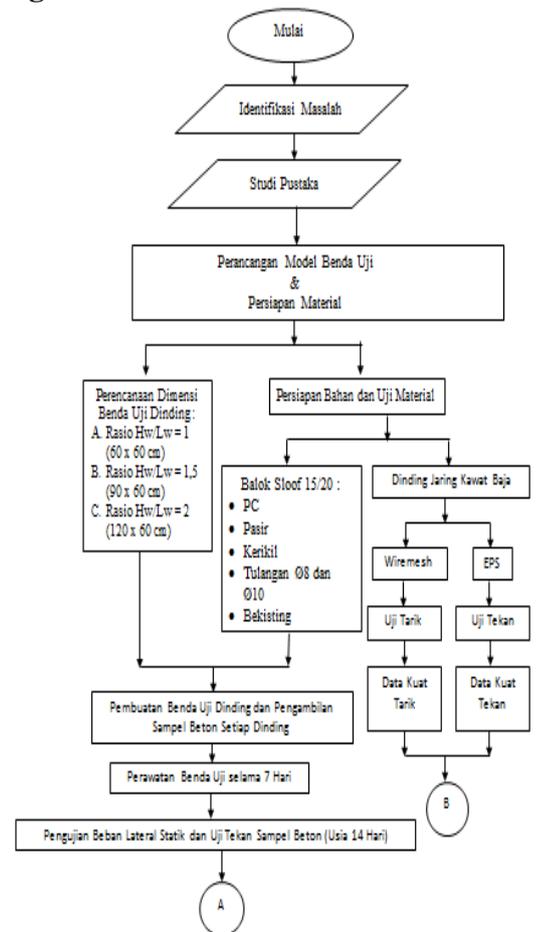
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah:

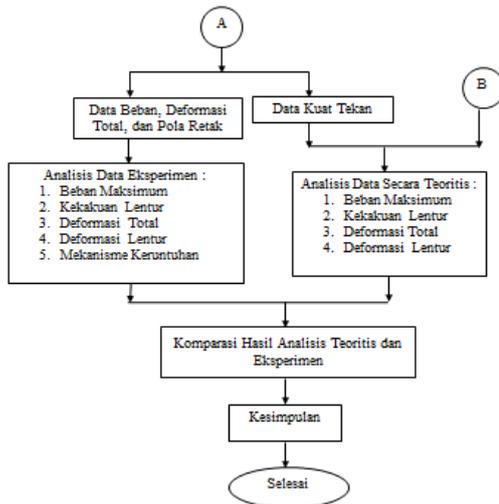
1. Peralatan
 - a. Timbangan
 - b. *Dial gauge* digunakan untuk mengukur besarnya deformasi yang terjadi pada dinding.
 - c. *Strain gauge* dan *Digital Strain Meter*
 - d. *LVDT*
 - e. *Loading frame* atau rangka penguji berfungsi untuk menempatkan benda uji pada saat pengujian.
 - f. *Hydraulic jack* atau dongkrak hidrolik kapasitas 15 ton serta *Load Cell* digunakan untuk memberikan beban *in plane* secara bertahap pada dinding m-panel.
 - g. *Proving Ring* digunakan untuk membaca beban yang dikenakan pada benda uji.
 - h. Alat tulis dan Mistar digunakan untuk menandai pola retak yang terjadi
 - i. *Sprayer* untuk menyemprotkan adukan semen ke dinding panel.
 - j. *Air Compressor* digunakan untuk memberi tekanan udara pada *Sprayer*.
 - k. *Clamp* untuk memotong wiremesh pada dinding m-

panel dan *Cutter* untuk memotong EPS dinding.

- l. Gergaji kayu dan meteran untuk pembuatan bekisting balok sloof.
 - m. Gergaji besi, tang potong, dan alat pembengkok tulangan untuk pembuatan tulangan balok sloof.
2. Bahan
 - a. Dinding M-panel yang telah terangkai *wiremesh* dan EPS dengan 3 macam ukuran.
 - b. Semen Portland (PC) tipe I
 - c. Agregat halus berupa pasir
 - d. Agregat Kasar berupa kerikil
 - e. Air
 - f. Baja tulangan polos diameter 8 mm untuk stek dinding dan sengkang
 - g. Baja tulangan polos diameter 10 mm untuk tulangan balok sloof.

3.2. Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

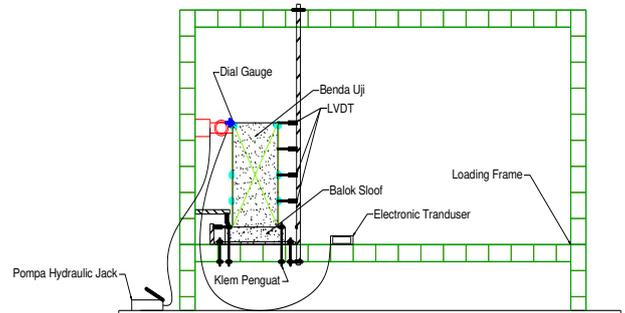
3.3. Prosedur Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut :

- a. Studi literatur dan analisis perencanaan beban maksimum (Pu) teoritis yang dapat ditahan oleh dinding.
- b. Persiapan benda uji berupa dinding M-Panel dengan ukuran 60 x 60 cm; 60 x 90 cm; dan 60 x 120 cm dan balok *sloof* dengan dimaensi 15 x 20 cm dan panjang 100 cm untuk pondasi dinding yang akan diuji.
- c. Pelapisan plester pada dinding dengan metode shotcrete. Pelapisan dilakukan dua kali. Pelapisan pertama dilakukan sampai *wiremesh* tertutup *shotcrete*. Pelapisan kedua dilakukan satu hari setelah pelapisan pertama sampai mencapai tebal plesteran yang memenuhi.
- d. Perawatan benda uji selama 7 hari.
- e. Pengujian dinding setelah 14 hari dengan beban lateral statik sampai beban dengan interval 100 kg.
- f. Pengamatan berupa deformasi dengan menggunakan *LVDT*

dan *dial gauge* serta pengamatan lebar retak menggunakan *crack detector microscope* dan juga pengamatan secara visual.

- g. Pengolahan dan analisis data
- h. Pembahasan data
- i. Kesimpulan



Gambar 3.2. Setting Up Benda Uji

Pada benda uji dinding A berukuran 60 x 60 cm terdapat 6 *dial gauge*, 4 pada kiri kanan dinding untuk mengukur deformasi lentur dan 2 pada muka dinding untuk mengukur deformasi geser. Serta ada 2 buah LVDT, untuk mengukur deformasi total horizontal dinding.

Pada benda uji dinding B berukuran 90 x 60 cm terdapat 8 *dial gauge* 4 pada kiri kanan dinding untuk mengukur deformasi lentur dan 2 pada muka dinding untuk mengukur deformasi geser. Serta ada 3 buah LVDT, untuk mengukur deformasi total horizontal dinding. Sedangkan pada dinding C sama halnya dengan dinding B, tetapi LVDT di dinding ini terdapat 4 titik baca

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengujian Bahan Penyusun Dinding

Sesuai dengan hasil pengujian kuat tarik yang didapatkan, jaring kawat baja mampu menahan 407,64 MPa. Hasil kuat tarik jaring kawat baja ini tidak sesuai dengan spesifikasi sebesar 600 MPa, hal ini disebabkan karena pada saat pengujian terjadi slip pada penjepit atas dari alat uji kuat tarik dan

terjadi putus pada daerah penjepitan sehingga tidak menghasilkan hasil kuat tarik yang sesuai spesifikasi. Namun dalam analisa selanjutnya kuat tarik jaring kawat baja (wiremesh) yang digunakan sebesar 600 MPa ($f_y = 600$ MPa)

Pada pengujian kuat tekan Extended Polystyrene System (EPS) yang dilakukan didapat hasil kuat tekan rata-rata sebesar $7,06 \text{ kg/cm}^2$ atau $0,7$ Mpa

Pengambilan sampel untuk uji beton dilakukan sebanyak 3 kali dengan ukuran masing-masing benda uji yaitu $5 \times 5 \times 5$ cm. Pengambilan sampel dilakukan tiap benda uji dinding yang akan diuji. Kuat tekan beton didapat setelah umur 14 hari. Kuat tekan beton yang diharapkan sesuai perencanaan adalah K-175 ($f'c = 15$ Mpa).

Dalam pengujian kuat tekan mortar beton ini, benda uji yang dipakai berukuran yaitu $5 \times 5 \times 5$ cm sehingga diperlukan konversi ke ukuran standar untuk pengujian bentuk kubus ($15 \times 15 \times 15$ cm). Faktor konversi yang digunakan berasal dari grafik *compressive strength of cubes of different sizes* dari buku Properties of Concrete karya A. M. Neville, didapatkan faktor sebesar $\frac{100}{108,5} = 0,92$. Kemudian setelah dikonversi ke kubus standar, kuat tekan beton karakteristik ($f'c$) dikonversi kembali ke bentuk silinder dengan faktor konversi sebesar 0,83. Kuat tekan beton yang diharapkan terbaca pada alat uji tekan (f_{cr}) sama dengan rata-rata dari kuat tekan beton karakteristik, $f'_{cr} = \sum f'c$.

Dinding	Benda Uji	P (kg)	A (cm ²)	Kuat Tekan	fcr	Kuat Tekan	fcr
				14 hari		28 hari	
				fci (kg/cm ²)	(kg/cm ²)	fci (kg/cm ²)	(kg/cm ²)
A1	1	3800	25	116.28	104.0	132.13	118.2
	2	3200	25	97.92		111.27	
	3	3200	25	97.92		111.27	
A2	1	1400	25	42.84	35.7	48.68	40.6
	2	1100	25	33.66		38.25	
	3	1000	25	30.60		34.77	
A3	1	200	25	6.12	10.2	6.95	11.6
	2	500	25	15.30		17.39	
	3	300	25	9.18		10.43	
B1	1	1900	25	58.14	64.3	66.07	73.0
	2	2000	25	61.20		69.54	
	3	2400	25	73.44		83.45	
B2	1	1700	25	52.02	52.0	59.11	59.1
	2	2000	25	61.20		69.54	
	3	1400	25	42.84		48.68	
B3	1	3600	25	110.16	119.3	125.18	135.6
	2	3500	25	107.10		121.70	
	3	4600	25	140.76		159.95	
C1	1	800	25	24.48	19.4	27.82	22.0
	2	500	25	15.30		17.39	
	3	600	25	18.36		20.86	
C2	1	800	25	24.48	19.4	27.82	22.0
	2	500	25	15.30		17.39	
	3	600	25	18.36		20.86	
C3	1	2900	25	88.74	87.7	100.84	99.7
	2	2300	25	70.38		79.97	
	3	3400	25	104.04		118.22	

Tabel 4.1. Hasil Kuat Tekan Beton

4.2. Analisis Perkiraan Beban Maksimum (Pu)

Dalam perhitungan beban maksimum ini, dinding diasumsikan sebagai balok tinggi dengan penampang persegi bertulang rangkap (tulangan tarik dan tulangan tekan). Dinding dianalisis sebagai balok kantilever karena arah beban lateral dengan tumpuan yang terjepit penuh oleh sloof.

a. Analisis Beban Maksimum Lentur

Analisis menggunakan penampang persegi bertulang rangkap. Sesuai dengan hukum keseimbangan gaya, gaya tarik (T) yang diberikan oleh baja tulangan tarik harus sama besarnya dengan gaya tekan (C) yang diberikan oleh beton pada daerah tekan (C_c) dan baja tulangan tekan (C_s). Teori kekuatan batas ultimate memberikan syarat bahwa baja tulangan tarik pada kondisi mencapai tegangan leleh ($f_s = f_y$) dan beton tekan pada kondisi mencapai regangan maksimum sebesar $\epsilon'_s = 0,003$, sedangkan baja tulangan tekan boleh sudah leleh ataupun belum leleh. Pada perhitungan ini diasumsikan bahwa baja tarik sudah leleh, $f_s = f_y$,

dan baja tekan belum leleh, $f's = \epsilon s' . E_s$
 dengan $\epsilon s' = \epsilon c \cdot \frac{c-d'}{c}$

c (letak garis netral) = a/β_1

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f'_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

dengan kontrol :

- Regangan baja tarik (ϵ_s) = $\epsilon c \cdot \frac{d-c}{c}$

Tegangan baja tarik (f_s) = $\epsilon_s \cdot E_s$

- Regangan baja tekan (ϵ_s') = $\epsilon c \cdot \frac{c-d'}{c}$

Tegangan baja tekan ($f's$) = $\epsilon_s' \cdot E_s$

Momen nominal penampang (M_n):

$$M_n = C_c \cdot (d-a/2) + C_s \cdot (d-d')$$

$$= 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \cdot (d-a/2) + A_s' \cdot f'_s \cdot (d-d')$$

Sehingga beban maksimum (P_u) didapat dengan membagi momen nominal (M_n) dengan tinggi dinding.

Benda Uji	f_y (kg/cm ²)	f'_c (kg/cm ²)	Kapasitas Lentur			
			a (cm)	M_n (kgcm)	L (cm)	P_u (kg)
A1	6000	104.0	7.04	251466.15	60	4191.10
A2	6000	35.7	11.91	169419.19	60	2823.65
A3	6000	10.2	21.84	115824.96	60	1930.42
B1	6000	64.3	8.93	209020.55	90	2322.45
B2	6000	52.0	9.90	193415.63	90	2149.06
B3	6000	119.3	6.58	265554.03	90	2950.60
C1	6000	19.4	16.03	139021.53	120	1158.51
C2	6000	19.4	16.03	139021.53	120	1158.51
C3	6000	87.7	7.66	235247.45	120	1960.40

Tabel 4.2. Kapasitas Lentur Dinding

Dilihat dari tabel perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa benda uji A1 (60 x 60 cm) memiliki kapasitas lentur yang terbesar yaitu 4191,53 kg dan benda uji C1 serta C2 (60 x 90 cm) memiliki kapasitas lentur terkecil yaitu 1158,51 kg.

b. Analisis Beban Maksimum Geser

Beban maksimum didapat dari perhitungan kuat geser nominal yang dikalikan dengan $\phi = 0,8$. Kuat geser nominal (V_n) merupakan penjumlahan dari kuat geser yang ditahan oleh beton (V_c) dengan kuat geser yang ditahan oleh baja (V_s).

$$V_n = V_c + V_s$$

dengan :

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \cdot b \cdot d$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$$

dan kuat geser ultimate yang terjadi pada dinding adalah

$$V_u = \phi \cdot V_n = 0,8 \cdot V_n$$

Benda Uji	f_y (kg/cm ²)	f'_c (kg/cm ²)	Kapasitas Geser			
			V_c (kg)	V_s (kg)	V_n (kg)	V_u (kg)
A1	6000	104.0	1693.374185	3532.5	5225.874185	4180.6993
A2	6000	35.7	991.9433517	3532.5	4524.443352	3619.5547
A3	6000	10.2	530.2160241	3532.5	4062.716024	3250.1728
B1	6000	64.3	1330.831658	3532.5	4863.331658	3890.6653
B2	6000	52.0	1197.396369	3532.5	4729.896369	3783.9171
B3	6000	119.3	1813.617842	3532.5	5346.117842	4276.8943
C1	6000	19.4	730.8523526	3532.5	4263.352353	3410.6819
C2	6000	19.4	730.8523526	3532.5	4263.352353	3410.6819
C3	6000	87.7	1554.898607	3532.5	5087.398607	4069.9189

Tabel 4.3. Kapasitas Geser Dinding

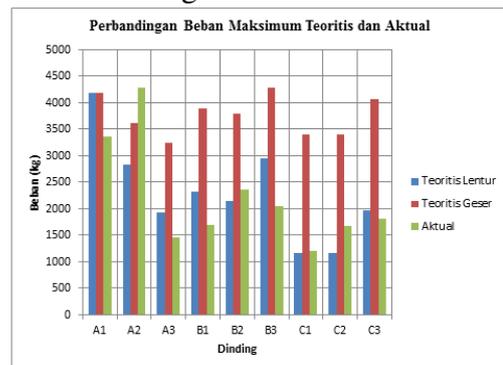
Dari tabel perhitungan diatas dapat didapatkan bahwa kapasitas geser dinding berkisar antara 3000 kg sampai 4000 kg.

4.3. Pengujian dan Hasil Pengujian Beban Lateral Statik

Besarnya beban yang dapat ditahan oleh masing-masing dinding uji tergantung oleh tingginya, semakin tinggi dinding tersebut maka beban yang dapat ditahan oleh dinding akan semakin kecil.

Dinding	Beban Maks. Teoritis (kg)		Beban Maks. Aktual (kg)
	Kap. Lentur	Kap. Geser	
A1	4191.10	4180.70	3365
A2	2823.65	3619.55	4286
A3	1930.42	3250.17	1469
B1	2322.45	3890.67	1700
B2	2149.06	3783.92	2369
B3	2950.60	4276.89	2042
C1	1158.51	3410.68	1200
C2	1158.51	3410.68	1682
C3	1960.40	4069.92	1807

Tabel 4.4. Hasil Beban Maksimum Aktual Dinding

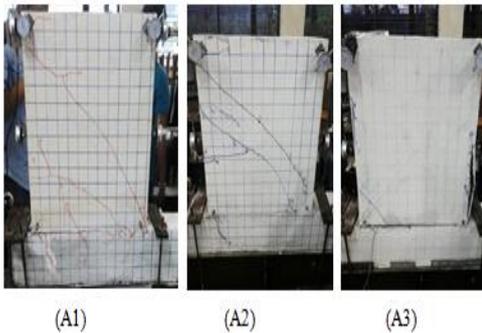


Gambar 4.1. Grafik Perbandingan Beban Maksimum Teoritis dan Aktual Benda Uji

Berdasarkan hasil penelitian, dapat dilihat pada grafik bahwa beban actual yang dapat diterima dinding pada umumnya lebih kecil daripada kapasitas yang telah dihitung secara teoritis.

Pada analisis selanjutnya dinding benda uji A3, B1 dan C1 tidak ikut dianalisis karena pada saat pengujian terdapat kesalahan mekanisme pemberian beban untuk B1 dan C1 sedangkan A3 mengalami rigid body movement sehingga data hasil dari ketiga benda uji tersebut tidak tercapai.

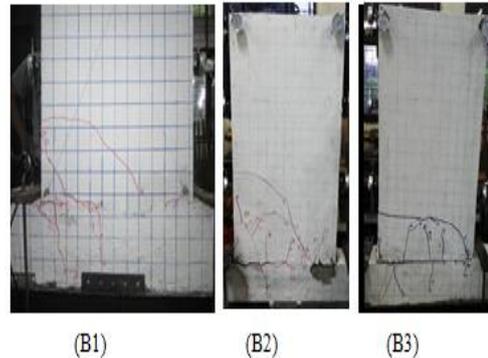
Keruntuhan atau kegagalan suatu dinding diawali dengan pola retak yang akan terjadi pada dinding. Analisa yang dilakukan pada mekanisme keruntuhan dinding dilakukan melalui pengamatan visual yakni mengamati pola keretakan yang terjadi pada dinding.



Gambar 4.2. Pola Keruntuhan Dinding Benda Uji A

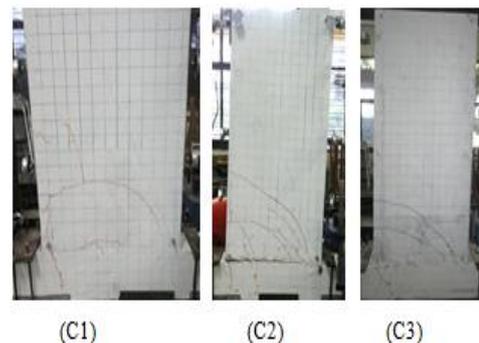
Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa dinding A1 dan A2 tidak mengalami kegagalan lentur. Kegagalan yang dialami oleh kedua dinding tersebut adalah kegagalan geser yang dominan. Hal ini ditunjukkan dengan dinding yang mengalami pola retak tarik diagonal pada penampang dinding. Keretakan awal yang terjadi pada tahap pembebanan yang sudah dilakukan juga diawali langsung dengan retak diagonal atau retak geser. Sesuai dengan teori yang ada bahwa dinding dengan rasio tinggi dan lebar (H_w/L_w) ≤ 1 akan lebih cenderung berperilaku geser yang dominan. Sementara itu pada dinding A3 tidak ditemukan retak geser maupun retak lentur pada muka

dinding karena mengalami *rigid body movement* dimana terjadi retak dan bukaan lebar pada permukaan balok pertemuan antara dinding dan balok sloof, serta terjadinya retak tekan pada daerah tulangan tekan yang besar



Gambar 4.3. Pola Keruntuhan Dinding Benda Uji B

Ketiga gambar tersebut menjelaskan mengenai mekanisme keruntuhan atau kegagalan dinding dalam menahan beban pada dinding B. Pada semua dinding B baik itu B1, B2, maupun B3, hampir sama terjadi pola retak yang sama. Mekanisme kegagalan geser pada dinding ini ditunjukkan dengan retak diagonal tarik (retak geser) setelah terjadinya retak lentur terlebih dahulu. Dapat dilihat jika dinding ini mengalami retak lentur dan geser yang cukup berimbang antara keduanya dengan artian tidak ada yang dominan salah satunya. Hal ini sesuai dengan teori yang ada bahwa dinding dengan rasio tinggi dan lebar (H_w/L_w) antara 1 dan 2 akan berperilaku lentur-geser dalam mekanisme keruntuhannya (*flexural-shear behavior*).

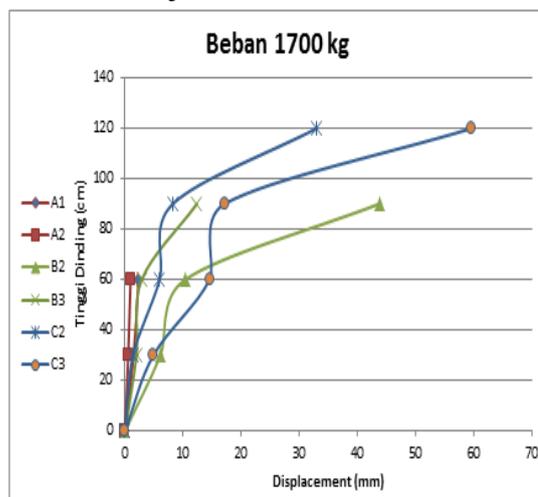


Gambar 4.4. Pola Keruntuhan Dinding Benda Uji C

Dari gambar mekanisme keruntuhan ketiga dinding C tersebut dapat dilihat bahwa mekanisme kegagalan lentur nampak dominan pada permukaan bagian bawah dinding. Retak ini ditandai dengan timbulnya garis lengkung diagonal memanjang disepanjang daerah sendi plastis dinding kemudian diikuti oleh retak yang timbul pada pertemuan antara dinding dengan sloof. Hal ini sesuai dengan teori yang ada bahwa dinding dengan rasio tinggi dan lebar (H_w/L_w) ≥ 2 akan berperilaku lentur dominan dalam mekanisme keruntuhannya (*flexural behavior*).

Pada pengujian dinding panel jaring kawat baja ini LVDT dipasang untuk mengukur deformasi per 30 cm tinggi dinding. Titik puncak dinding yang teramati deformasinya oleh LVDT disebut titik 1 diikuti dengan titik-titik selanjutnya dengan elevasi turun per 30 cm. Hasil dari deformasi atau displacement ditampilkan tiap titik pengamatan.

Berikut merupakan perbandingan deformasi yang terjadi antar benda uji.



Gambar 4.5. Perubahan Deformasi Benda Uji saat Beban 1700 Kg

Perbandingan dilakukan pada beban sebesar 1700 kg karena pada beban ini data deformasi semua benda uji ada sehingga dapat dianalisis. Berdasarkan grafik tersebut terlihat

bahwa deformasi yang terjadi pada benda uji C paling besar daripada benda uji A dan B. Deformasi terkecil terjadi pada dinding benda uji A yang disimbolkan dengan garis berwarna merah. Benda Uji C terlihat lebih dominan mengalami lentur daripada yang lain. Namun deformasi yang terjadi pada benda uji B2 lebih besar daripada benda uji C, hal ini dikarenakan terdapat banyak faktor yang mempengaruhi seperti hasil uji kuat tekan beton maupun pola kehancuran yang terjadi maupun kehandalan peneliti dalam pengujian sehingga menyebabkan besarnya deformasi yang terjadi bisa menjadi lebih besar maupun lebih kecil.

Untuk lebih mengetahui perilaku lentur dari dinding panel ini maka deformasi lentur dan kekakuan lentur ikut dianalisis. Kekakuan lentur didapatkan dari persamaan $k = \frac{3EI}{L^3}$ dengan modulus elastisitas (E) didapat dari perhitungan berdasarkan berat isi dinding dan kuat tekan beton pada dinding. Sehingga berdasarkan referensi dari R. Park dan T. Paulay, digunakan rumus yaitu $E = w^{1.5} \cdot 33 \sqrt{f'_c}$ (psi). Dimana w adalah berat isi dalam lb/ft³ dan nilai momen inersia penampang diasumsikan komposit berlubang.

Dalam hal ini kekakuan dinding diasumsikan sama seperti kekakuan pada balok kantilever dengan ujung terjepit sehingga nilai $k = \frac{3EI}{L^3}$. Deformasi lentur didapat dengan membagi besarnya beban dengan nilai kekakuan.

Untuk inersia penampang dinding digunakan rumus momen inersia komposit. Dengan boks berpenampang berlubang dan *wiremesh*

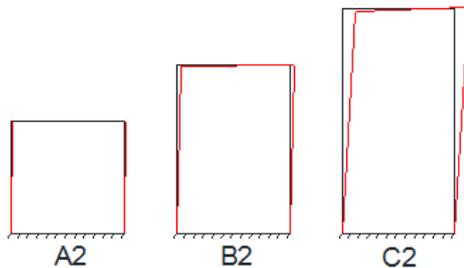
$$I_x = \frac{bh^3}{12} - \frac{b_1h_1^3}{12} + \frac{1}{4}\pi R^4 \left(\frac{Es}{Ec}\right)$$

maka didapatkan momen inersia penampang sebesar 186787 cm⁴.

Dinding	Berat Isi (lb/ft ³)	f _c (MPa)	Modulus Elastisitas E (kg/cm ²)	I (cm ⁴)	L (cm)	Kekakuan Lentur (kg/m)	P (kg)	Δf _l (mm)
A1	127.51	10.4	127209.54	186787	60	33001510.47	1700	0.0515
A2	126.91	3.6	73992.00	186787	60	19195477.99	1700	0.0886
B2	99.89	5.2	62373.05	186787	90	4794433.82	1700	0.3546
B3	127.17	11.9	135709.23	186787	90	10431572.22	1700	0.1630
C2	124.98	1.9	53276.98	186787	120	1727681.91	1682	0.9736
C3	140.69	8.8	135383.23	186787	120	4390247.95	1674	0.3813

Tabel 4.5. Kekakuan Lentur dan Deformasi Lentur

Berdasarkan analisis tersebut didapatkan bahwa nilai deformasi lentur pada benda uji C paling besar dibanding dengan benda uji B maupun benda uji A. Pada benda uji C2 deformasi yang dihasilkan sebesar 0,9736 mm yang merupakan deformasi terbesar sedangkan deformasi terkecil terdapat pada benda uji A1 dengan besar 0.0515 mm. Dari hal tersebut dapat dikatakan bahwa benda uji C dengan ratio tinggi dan lebar (H_w/L_w) = 2 memiliki deformasi lentur terbesar. Untuk masing-masing model benda uji dinding, deformasi lentur teoritis terbesar terjadi pada A2 = 0,0886 mm, B2 = 0,3546 mm, dan C2 = 0,9736 mm.



Gambar 4.6. Deformasi Lentur yang Terjadi pada Dinding Benda Uji A2, B2 dan C2.

Dinding	P (kg)	Kekakuan Lentur (kg/m)	Δf _l (mm)	Δ _{total} (mm)	Δf _l /Δ _{tot} (%)
A1	1700	33001510.47	0.0515	0.09495	54.26
A2	1700	19195477.99	0.0886	0.16323	54.26
B2	1700	4794433.82	0.3546	0.48745	72.74
B3	1700	10431572.22	0.1630	0.22403	72.74
C2	1682	1727681.91	0.9736	1.17877	82.59
C3	1674	4390247.95	0.3813	0.46167	82.59

Tabel 4.6. Perbandingan Deformasi Total dengan Deformasi Lentur

Berdasarkan perhitungan tersebut didapat bahwa pada benda uji C2 dan C3 persentase besarnya deformasi lentur teoritis yang terjadi paling besar yaitu 82,59 % dan terkecil terjadi pada benda uji A1 dan A2 yaitu sebesar 54,26 %. Hal ini membuktikan bahwa dinding dengan rasio tinggi dan lebar (H_m/L_w) ≥ 2 berperilaku dominan lentur.

Perhitungan deformasi lentur aktual yang terjadi pada dinding dilakukan menggunakan dial yang telah dipasang pada bagian samping dinding.

Untuk dial nomer 1 dan 2 ditempatkan pada titik 3 (paling bawah) dengan jarak 300 mm dari atas sloof, kemudian dial nomer 3 dan 4 ditempatkan pada titik 2 dengan jarak 600 mm dari atas sloof. Dial nomer 5 dan 6 ditempatkan pada titik 1 berjarak 900 mm dari atas sloof untuk benda uji B dan berjarak 1200 mm untuk benda uji C. Perhitungan besar deformasi lentur tiap level titik ditentukan dengan persamaan :

$$\Delta f_{li} = \frac{L - L_{vi}}{L_h} (\delta f_2 - \delta f_1)$$

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut :

Benda Uji	Beban Maksimum	Δf total (mm)	Δf _l (mm)		
			Titik 3	Titik 2	Titik 1
A1	3365	8.33	-	-	-
A2	4286	6.75	0.125	0.03	-
A3	1469	12.96	0.2225	0.005	-
B1	1700	5.69	0.001	0.001	0
B2	2369	75	0.01	0.215	0.02
B3	2042	31.4	0.855	0	0.03
C1	1200	12.06	0.255	0	0
C2	1682	33	0	0.405	0
C3	1807	65.72	1.02	0.885	0.02

Tabel 4.7. Hasil Deformasi Lentur dari Dial Gauge

Benda uji A3, B1, dan C1 tidak dapat dianalisis karena terjadi kesalahan mekanisme maupun prosedural pada saat pengujian, dan untuk benda uji A1 data pengujian tidak terambil sehingga benda uji yang dapat dianalisis hanya A2, B2, C3, C2 dan C3. Namun karena terjadi kesalahan faktor alat pada dial

dan ketidaksesuaian dial yang digunakan dengan set benda uji yang telah ada maka banyak data deformasi lentur yang tidak bisa terbaca. Dial juga mulai menunjukkan pembacaan perubahan nilai saat beban maksimum.

Kendala ini mempengaruhi analisis data yang dilakukan, seharusnya titik 1 mengalami deformasi yang terbesar karena berada di puncak namun hasil yang didapat menunjukkan kebalikannya. Oleh karena itu analisis hanya dilakukan secara teoritis saat dinding dalam keadaan elastis menggunakan persamaan $P=k\Delta$ dengan memperhitungkan kekakuan dari tiap benda uji seperti pada perhitungan sebelumnya.

4. Penutup

Berdasarkan hasil penelitian serta analisis dan pembahasan data yang didapat, ditarik beberapa kesimpulan untuk menjawab permasalahan dalam penelitian perilaku lentur dinding panel jaring kawat baja tiga dimensi dengan variasi rasio tinggi dan lebar (H_w/L_w) terhadap beban lateral statik, yaitu :

Dinding dengan rasio tinggi dan lebar dinding (H_w/L_w) ≤ 1 dapat menahan beban maksimum (P_u) paling besar. Dari semua benda uji yang diamati, beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji adalah sebesar 4286 kg.

Besarnya deformasi total yang terjadi pada dinding tergantung dengan rasio tinggi dan lebar dinding (H_w/L_w). Semakin tinggi rasionya maka deformasi total yang terjadi akan semakin besar.

Perilaku lentur (*flexural behavior*) yang dominan terjadi pada dinding dengan rasio tinggi dan lebar dinding (H_w/L_w) ≥ 2 . Hal ini dibuktikan dengan perubahan deformasi total yang menunjukkan bentuk deformasi lentur, serta hasil analisis pendekatan deformasi lentur pada dinding yang menunjukkan nilai paling besar.

Terdapat beberapa saran yang perlu diperhatikan apabila mengadakan penelitian lebih lanjut. Pertama, metode pelaksanaan penelitian dalam proses pembuatan benda uji khususnya dalam mix desain serta pelaksanaan *shortcrete* yang harus diperhatikan dan dipersiapkan dengan matang sehingga kuat tekan beton dapat sesuai rencana.

Kedua, Pemeriksaan faktor alat yang digunakan seperti dial harus dilakukan secara teliti dan menyeluruh sesuai dengan kondisi pengujian yang dilakukan agar data yang diharapkan tercapai. Diperlukan penelitian pendahuluan untuk memastikan bahwa set alat yang telah dipasang pada benda uji bekerja dengan baik.

Ketiga, Metode penyambungan antara balok sloof dan dinding yang menggunakan stek sebagai penghubung perlu diperhatikan dalam pemasangannya. Keduanya harus dipastikan saling mengikat sehingga tidak akan terjadi kegagalan yang lebar pada sambungan tersebut pada saat benda uji dibebani

5. Daftar Pustaka

- ASTM E-564. 2001. *Standard Practice for Static Load Test for Shear Resistance of Framed Walls for Buildings*. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- Nurlina, Siti. 2008. *Struktur Beton*. Malang : Bargie Media Press
- R. Park & Pauley. 1975. *Reinforced Concrete Structure*. John Wiley & Sons Inc
- Paulay & Priestley. 1992. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. John Wiley & Sons Inc
- Neville, A.M. 1981. *Properties of Concrete*. Longman Singapore Publishers Pte Ltd.