

TINJAUAN TEBAL OPTIMUM DINDING PANEL YANG MENGUNAKAN AGREGAT KASAR DARI PECAHAN GENTENG DENGAN PERKUATAN ANYAMAN BAMBU

M. Ujianto¹, Abdul Rochman², Paryono³

^{1,2} Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

³ Alumnus Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Email: Ujianto.ums@gmail.com

Abstraksi

Pada umumnya tembok atau dinding dibuat dari pasangan bata merah yang dilapisi dengan mortar. Dinding dari pasangan bata merah punya banyak kelemahan, seperti pekerjaan lama, boros tenaga kerja, dan berat volume yang cukup tinggi, sehingga dapat memperat massa gedung yang pada akhirnya menambah beban gempa. Untuk itu dibuatlah alternatif pengganti dinding pasangan batu bata dengan menggunakan dinding panel tulangan anyaman bambu dengan agregat pecahan genteng yang lebih tipis, ringan dan memiliki kekuatan yang tidak kalah dari dinding pasangan batu bata, bahkan kekuatan dari dinding panel ini bisa melebihi dari dinding batu bata. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tebal optimum dinding panel yang kekuatannya setara dengan kekuatan dinding dari pasangan batu bata ukuran 14 cm x 50 cm x 120 cm, serta mengetahui perbandingan kekakuan keduanya. Dinding panel dengan tulangan anyaman bambu dibuat dengan 3 variasi ketebalan yang berbeda, yaitu 9 cm, 10 cm, dan 11 cm dengan ukuran panjang dan lebar sama, yaitu 50 cm x 120 cm, tiap masing-masing variasi dibuat 3 benda uji. Sebagai pembanding, juga dibuat dinding pasangan batu bata ukuran 14x50x120 cm sebanyak 3 benda uji. Perencanaan campuran adukan beton dengan metode SNI-15-1990-03, dengan faktor air semen 0,40. Pengujian dilakukan ketika benda uji berumur 44 hari. Hasil pengujian kuat tekan silinder beton didapat nilai rata-rata sebesar 18,440 MPa. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa dinding panel menggunakan tulangan anyaman bambu dengan tebal 9 cm memiliki kekuatan lentur dalam hal ini diukur dari beban retak awal yang nilainya mendekati dengan momen retak awal dinding batu bata tebal 14 cm, yaitu sebesar 8,800 kN untuk dinding panel tebal 9 cm, dan 9 kN untuk dinding pasangan batu bata. Untuk berat satuan, diperoleh nilai sebesar 2,192 ton/m³ untuk pasangan batu bata, dan 1,573 ton/m³ atau memiliki selisih 28,2 %. Sedang dari perbandingan kekakuan, diperoleh kekakuan 5773,81 N/mm untuk dinding panel tebal 9 cm, dan 6002 N/mm untuk dinding pasangan batu bata.

Keywords: agregat pecahan genteng, dinding panel, kuat lentur, tulangan anyaman bambu.

Pendahuluan

Pada umumnya tembok/ dinding dibuat dari pasangan bata merah yang dilapisi dengan mortar. Dinding dari pasangan bata merah punya banyak kelemahan, seperti pekerjaan lama, boros tenaga kerja, dan berat volume yang cukup tinggi, sehingga dapat memperat massa gedung yang pada akhirnya menambah beban gempa. Untuk itu maka dibuatlah alternatif pengganti dinding/tembok batu kali/batu bata dengan menggunakan dinding panel yang lebih tipis ringan dan memiliki kekuatan yang tidak kalah dari dinding/tembok yang dibuat dari batu kali ataupun dari batu bata, bahkan kekuatan dari dinding panel ini bisa melebihi dari bahan-bahan tersebut diatas.

Tulangan pada umumnya dari material baja yang merupakan kuat menahan kuat tarik, namun harga baja semakin lama semakin mahal, mengingat ketersediaan bahan dasarnya semakin lama semakin terbatas dan proses produksinya yang membutuhkan teknologi tinggi. Semakin mahalnya baja tulangan mendorong beberapa ahli untuk mencari material alternatif untuk menggantikan peran baja tulangan tersebut. Dalam beberapa dekade terakhir, muncul pemikiran bahwa bambu bisa digunakan untuk menggantikan peran baja tulangan pada struktur beton. Hal ini dikarenakan kuat tarik bambu yang cukup tinggi yang hampir setara dengan kuat tarik baja lunak.

Pada penelitian terdahulu oleh Winarso (2011) mengenai rangkaian dinding panel dengan perkuatan tulangan bambu yang menggunakan agregat pecahan genteng dengan ukuran benda uji 10 cm x 50 cm x 100 cm dengan nilai faktor air semen (fas) 0.30 dan 0.40. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil kuat tekan rata-rata silinder beton untuk nilai fas 0,30 adalah 3,508 MPa, sedangkan untuk nilai fas 0,40 sebesar 2,603 MPa. Kuat tekan yang didapatkan dari hasil pengujian menunjukkan semakin besar nilai fas kuat tekan yang dihasilkan semakin rendah. Kuat tekan yang dihasilkan kurang dari 10 MPa sebaiknya digunakan sebagai beton non struktural. Kuat lentur rata-rata dari

penelitian untuk nilai fas 0,30 sebesar 1,076 MPa, sedangkan untuk nilai fas 0,40 sebesar 0,925 MPa. Kuat lentur dari hasil penelitian menunjukkan semakin besar nilai fas kuat lentur dari plat dinding panel juga semakin rendah.

Sedangkan Rofiq (2010) mengenai dinding panel dengan agregat kasar pecahan genteng dan tanpa menggunakan pasir, dapat disimpulkan bahwa dari hasil pengujian kuat lentur dinding panel diperoleh tegangan lentur sebesar 3,119 MPa, sehingga cocok dimanfaatkan untuk pengganti dinding untuk suatu bangunan. Dalam penelitian ini lebih menitik beratkan penggunaan pecahan genteng sebagai pengganti agregat kasar dan tulangan dari bambu, benda uji tersebut akan dicoba dibandingkan dengan dinding pasangan batu bata ukuran 14 cm x 50 cm x 120 cm. Dalam penelitian ini diharapkan dinding panel dengan agregat pecahan genteng dan tulangan dari bambu orie dapat dipergunakan sebagai alternatif pengganti dinding/tembok dari batu bata maupun batu kali yang lebih ekonomis dan lebih berkualitas. Pada penelitian ini dimaksudkan untuk mencari solusi/alternatif pengganti baja tulangan yang akan diganti dengan tulangan dari bambu orie dan mengganti agregat kasar (kerikil) dengan agregat pecahan genteng. Pada umumnya pecahan genteng belum banyak dimanfaatkan oleh masyarakat. Untuk itu dalam penelitian ini dimanfaatkan sebagai agregat kasar. Bambu memiliki kuat tarik cukup tinggi, tetapi seberapa besar kuat lentur tulangan bambu jika dikombinasikan dengan beton campuran agregat pecahan genteng dan seberapa tebal dinding panel agar memiliki kuat lentur yang hampir sama dengan dinding pasangan batu bata.

Hal yang ingin dicapai dalam penelitian ini antara lain: (i) Untuk mengetahui tebal dinding panel tulangan bambu yang tepat untuk menghasilkan kuat lentur optimum, (ii) Untuk mengetahui perbandingan berat antara dinding panel dengan dinding batu bata, (iii) Untuk mengetahui perbandingan kekakuan antara dinding panel dengan dinding batu bata.

Beton ringan adalah beton yang agregat kasarnya diganti dengan agregat ringan. Selain itu dapat pula berupa beton yang diberi bahan tambah yang mampu membentuk gelembung-gelembung udara selama pengadukan berlangsung. Beton ini mempunyai banyak pori sehingga berat jenisnya lebih rendah daripada beton biasa. Beton ringan sendiri merupakan beton dengan berat jenis di bawah 1900 kg/m^3 dengan berat jenis lebih rendah dibandingkan dengan beton yang dibuat dengan menggunakan agregat dengan berat jenis normal (Dobrowolski, 1998). Menurut Dobrowolski, 1998 beton ringan dibagi menjadi tiga kategori, yaitu:

1) Beton dengan berat jenis rendah (*Low-Density Concrete*). Beton yang termasuk kategori ini memiliki berat jenis antara 15 pounds/ft^3 dan 50 pounds/ft^3 (240 kg/m^3 - 800 kg/m^3) dan kuat tekan antara $50 \text{ pounds/inchi}^2$ dan $1000 \text{ pounds/inchi}^2$ (0,35 MPa -6,9 MPa).

2) Beton ringan dengan kekuatan menengah (*Moderate-Strength Lightweight Concrete*). Beton yang termasuk kategori ini memiliki berat jenis antara 50 pounds/ft^3 dan 90 pounds/ft^3 (800 kg/m^3 - 1440 kg/m^3) dan kuat tekan antara $1000 \text{ pounds/inchi}^2$ dan $2500 \text{ pounds/inchi}^2$ (6,9 MPa – 17,3 MPa).

3) Beton ringan struktur (*Structural Lightweight Concrete*). Sifat-sifat beton merupakan hal yang erat hubungannya dengan kualitas beton yang dituntut untuk suatu tujuan konstruksi, yang diharapkan agar beton dapat memenuhi secara maksimal dan ekonomis tidak terjadi pemborosan.

Dinding panel yang dibuat secara pracetak adalah solusi tepat bagi kondisi daerah atau jenis pekerjaan seperti di atas. Keuntungan dari konstruksi beton pracetak terletak pada berkurangnya tenaga kerja yang diperlukan dalam menghasilkan satu satuan beton karena rangkaian produksi dilakukan secara mekanis dan pembuatannya dapat dilakukan dengan tenaga kerja setempat tanpa keahlian khusus. Dinding panel atau lebih dikenal dengan panel-panel dinding merupakan salah satu komponen non struktural dari suatu bangunan. Pada umumnya tembok atau dinding dibuat dari bahan batu kali atau bata merah yang dilapisi dengan mortar, pada volume besar dan letak bangunan di daerah yang memerlukan perlakuan khusus, seperti di daerah gempa dan bangunan gedung bertingkat. Pembuatan dinding dengan bata merah yang dikerjakan di lapangan menimbulkan dampak yang tidak baik di lapangan seperti pekerjaan lama, boros tenaga kerja, memiliki berat jenis tinggi dan berbahaya ketika terjadi gempa.

Bambu adalah rumput berkayu berbentuk pohon atau perdu. Bambu adalah tanaman yang termasuk *ordo Gramineae, familia Bambuseae*. Bambu merupakan tumbuhan berumpun, berakar serabut yang batangnya berbentuk silinder dengan diameter bervariasi mengecil mulai dari ujung bawah sampai ujung atas, berongga, keras dan mempunyai pertumbuhan primer yang sangat cepat tanpa diikuti pertumbuhan sekunder, sehingga tingginya dapat mencapai 40 m. Silinder batang bambu tersebut dipisahkan oleh nodia/ruas, yaitu diafragma-diafragma yang arahnya transversal (Dransfield dan Widjaja, 1995).

Dari penelitian Janssen (1980) terhadap sifat mekanik bambu dari spesies *Bambusa Blumana* berumur 3 tahun pada pembebanan 10 kg/cm^2 didapat, kekuatan lentur rata-rata 840 kg/cm^2 , kuat geser $22,5 \text{ kg/cm}^2$ dan modulus elastisitas 200.000 kg/cm^2 . Kekuatan tarik serat bambu yaitu suatu ukuran kekuatan bambu dalam hal kemampuannya untuk menahan gaya-gaya yang cenderung menyebabkan bambu itu terlepas satu sama lain. Kekuatan tarik dibedakan menjadi dua macam yaitu kekuatan tarik tegak lurus serat dan kekuatan tarik sejajar serat. Kekuatan tarik sejajar arah serat merupakan kekuatan tarik yang terbesar pada bambu. Kekuatan tarik tegak lurus serat mempunyai hubungan dengan ketahanan bambu terhadap pembelahan. Setiap jenis bambu memiliki kuat tarik yang berbeda-beda. Tabel 1 menyajikan kuat tarik dari berbagai macam bambu yang sudah pernah dilakukan penelitian (Morisco, 1999).

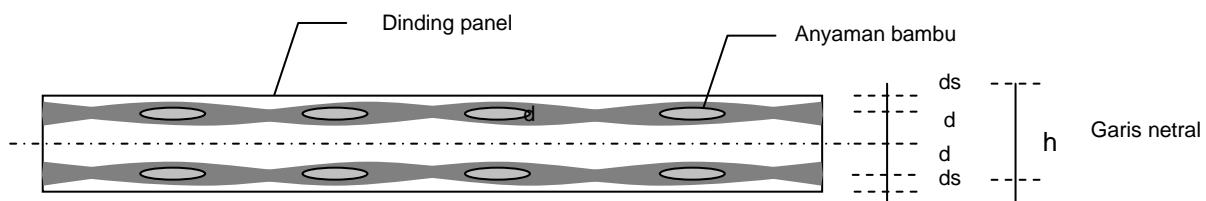
Tabel 1. Kuat tarik bambu tanpa buku kering oven (Morisco, 1999)

No	Jenis bambu	Kuat tarik bagian dalam (MPa)	Kuat tarik bagian luar (MPa)
1	Ori	164	417
2	Petung	97	285
3	Wulung	96	237
4	Tutul	146	286

Felik Yap (1983), menyarankan apabila bambu digunakan sebagai tulangan pengganti baja di sarankan untuk kontruksi tidak permanen atau komponen non struktural dari suatu bangunan, hal ini didasarkan pada bambu mempunyai kemampuan untuk menyerap air tinggi, sehingga berpengaruh terhadap daya lekat bambu terhadap beton meskipun mempunyai kuat tarik yang cukup tinggi. Adapun hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Tular dan Sutijan (1961), modulus elastis E bambu berkisar antara 98070 kg/cm² – 294200 kg/cm², tetapi untuk perancangan dipakai E sebesar 294200 kg/cm².

Desain Benda Uji

Untuk mendapatkan hasil penelitian seperti yang diharapkan, maka ketebalan dinding panel perlu didesain dengan memanfaatkan data-data dari hasil penelitian sebelumnya. Desain benda uji ini berdasarkan metode elastis, sehingga seluruh penampang beton baik pada sisi tarik maupun tekan diperhitungkan atau turut mendukung beban. Dengan prinsip desain elastis ini, maka digunakan metode transformasi area, atau metode penampang ekuivalen yang sudah dikenal luas dalam metode analitis elastis.



Gambar 1. Dinding panel dengan perkuatan anyaman bambu

Untuk mendesain tebal dinding panel, sebelumnya dilakukan terlebih dahulu pengujian pra-penelitian dengan membuat benda uji dinding pasangan batubata lengkap dengan spesi dengan ukuran 50 cm x 120 cm x 140 cm sebanyak 3 sampel. Setelah benda uji kering, dilakukan pengujian lentur terhadap sampel tersebut. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian lentur benda uji dinding pasangan batu bata

No	Beban tekan maksimal (N)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	MOR (N/mm ²)	M _{Retak} (N.mm)	M _{Retak} (kN.m)
1	8500	1200	600	140	1,561	2550000	2,550
	9500	1200	600	140	1,746	2850000	2,850
	9000	1200	600	140	1,653	2700000	2,700
Rata - rata					1,653		2,700

Dengan teori tranformasi area, didapatkan,

$$\text{Rasio modulus, } n = \frac{E_{\text{bambu}}}{E_{\text{beton}}} = \frac{29420(\text{morisco},1999)}{4700\sqrt{18}} = 1,475$$

$$\text{MOR}_{\text{beton}} = \text{MOR}_{\text{dinding panel}} = 0,7 \cdot \sqrt{f_c^i} = 0,7 \cdot \sqrt{18} = 2,97 \text{ MPa}$$

Tebal dinding panel ditentukan dari persamaan 1,

$$MOR_{\text{beton}} = MOR_{\text{dinding panel}} = \frac{M_{\text{retak-dinding-pasangan-batubata}} \cdot 0,5h}{\frac{1}{12} \cdot bh^3 + 2((n-1)A_{\text{bambu}} \cdot (0,5h - d_s)^2)} \quad (1)$$

Dengan memasukkan data-data berikut ke dalam persamaan (1)

$$\begin{aligned} b &= 500 \text{ mm} & A_{\text{bambu}} &= 700 \text{ mm}^2 \\ n &= 1,475 & d_s &= 15 \text{ mm} \\ MOR_{\text{dinding panel}} &= 2,97 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Diperoleh $h = 103,45 \text{ mm} = 10,345 \text{ cm} \approx 10 \text{ cm}$. Untuk penelitian tebal benda uji diambil 1 cm dibawah dan 1 cm diatas tebal perhitungan. Untuk lebih jelasnya lihat Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Macam dan variasi benda uji

No	Pengujian	Dimensi	Jumlah
1	Dinding Panel	9 cm x 50 cm x 120 cm	3 buah
		10 cm x 50 cm x 120 cm	3 buah
		11 cm x 50 cm x 120 cm	3 buah
2	Pas. Batu bata	14 cm x 50 cm x 120 cm	3 buah
3	Silinder Beton	Diameter = 15 cm Tinggi = 30 cm	4 buah

Metode Penelitian

Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi:

1) Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan adalah pasir yang berasal dari Kaliworo, Klaten.

2) Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan sebagai pengganti kerikil berupa pecahan genteng berasal dari limbah toko genteng di Kartasura, Sukoharjo, kemudian genteng tersebut dipecah dengan ukuran maksimal 20 mm.

3). Semen Portland

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari *silikat-silikat kalsium* yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambah. Semen yang digunakan adalah semen jenis I merk *holcim*.

4). Tulangan anyaman bambu Ori

Pada penelitian ini bambu yang digunakan adalah bambu ori dan diambil bagian terluar untuk anyaman bambu. Bambu ori yang dipakai untuk tulangan dinding panel ini berasal dari daerah Nusukan.



Gambar 2. Anyaman bambu ori

Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini meliputi:

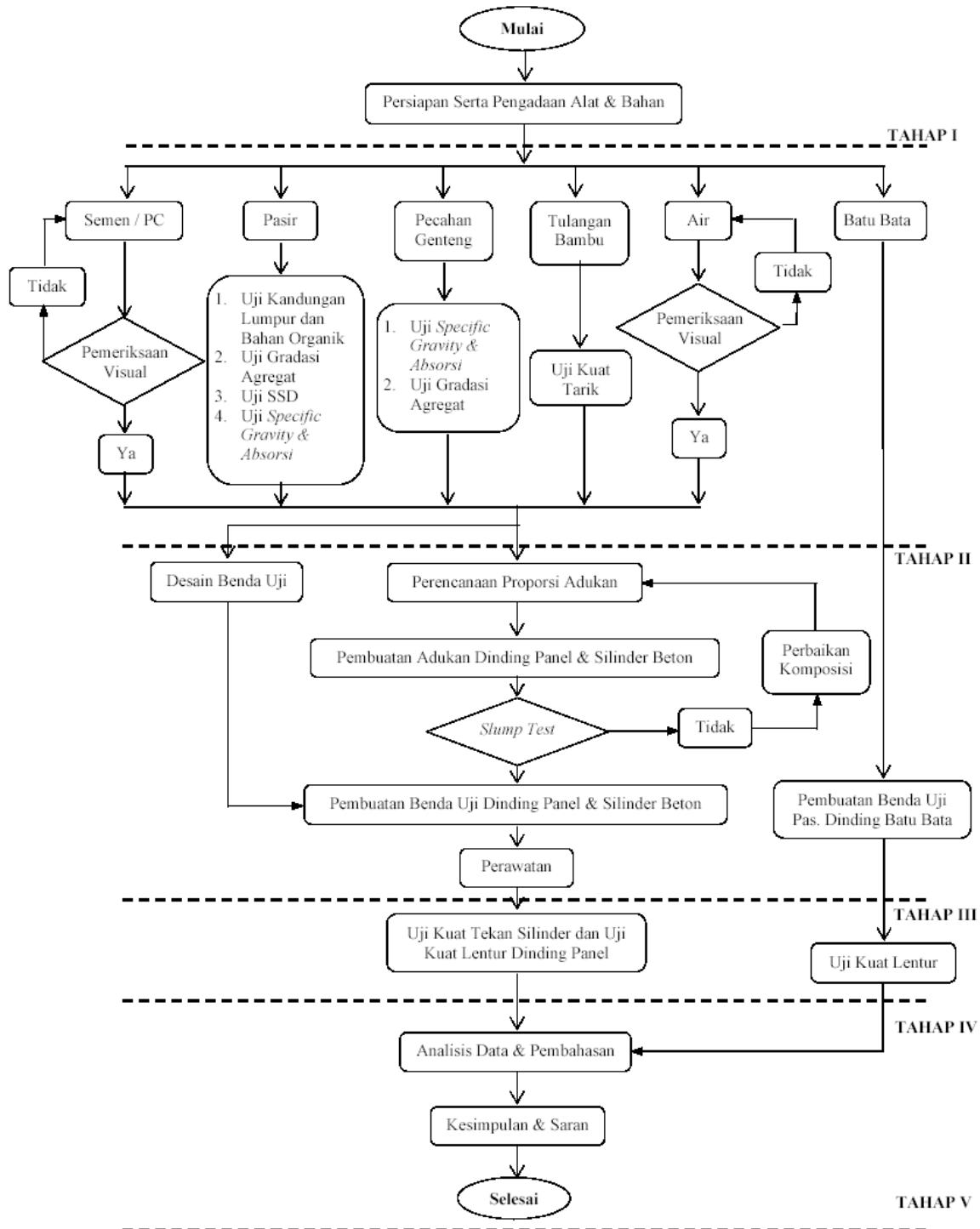
- 1) Alat uji kuat tekan, Alat uji tekan berfungsi untuk menguji kuat tekan sampel beton berbentuk silender dan berbentuk kubus. Memiliki kapasitas maksimum 150 T, dengan merk MBT. Kecapatan pengujian ini sebesar 5 mm/dtk.

2) Alat uji kuat tarik, Alat dengan nama *Universal testing mechine merk Shimadzu* ini digunakan untuk menguji kuat tarik benda uji bambu.

3) Alat uji kuat lentur

Alat dengan nama *Bending Test Machine* ini dipergunakan untuk menguji kuat lentur bambu, anyaman bambu plester. Dengan memberikan bebanditengah benda uji dan ditambah beban secara perlahan dengan menggunakan pompa hidrolik, sehingga benda uji menahan beban maksimal.

Tahapan Pelaksanaan Penelitian



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

Hasil Penelitian dan Pembahasan

1. Analisis keruntuhan

Pada waktu pengujian dinding panel dengan tulangan anyaman bambu, terjadi tidak sampai menyebabkan dinding panel terbelah menjadi dua bagian dan hanya sebatas retak saja, hal ini dikarenakan penggunaan dua keruntuhan pengujian dinding panel campuran agregat pecahan genteng dengan tulangan anyaman bambu, dapat disimpulkan bahwa pola keruntuhan yang terjadi tidak sampai menyebabkan dinding panel terbelah menjadi dua bagian dan sebatas retak saja, hal ini dikarenakan penggunaan dua lapis tulangan anyaman bambu mampu menahan beban dari alat *Bending Test Machine*, sehingga mencegah dinding panel campuran agregat pecahan genteng dengan tulangan anyaman bambu terbelah menjadi dua bagian. Dengan pola keruntuhan semacam ini maka dinding panel campuran agregat pecahan genteng dengan tulangan anyaman bambu sangat baik digunakan sebagai pengganti pasang dinding batu bata pada daerah rawan gempa, hal ini dikarenakan pola keruntuhan yang masih mempertahankan bentuk aslinya. Apabila sewaktu-waktu terjadi gempa maka dinding panel ini tidak langsung runtuh namun diawali dengan retakan-retakan terlebih dahulu hingga batas maksimal dari kekuatan dinding panel tersebut.

3. Analisis kekakuan eksperimen

Untuk menghitung kekakuan dinding panel maupun dinding batu bata secara eksperimen digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kekakuan} = \frac{\text{Beban} - \text{retak awal}}{\text{Lendutan}}$$

Hasil pengujian dan hasil perhitungan analisis kekakuan dinding panel dan dinding batu bata secara eksperimen lihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan analisis kekakuan secara eksperimen

No	Pengujian	P _{retak awal} (N)	Lendutan (mm)	Kekakuan (N/mm)
1	Dinding Panel			
a	9 x 50 x 120 cm	9000	1,6	5625,00
		9000	1,6	5625,00
		8500	1,4	6071,43
	Rata-rata	8833	1,5	5773,81
b	10 x 50 x 120 cm	10500	1,6	6562,50
		10500	1,6	6562,50
		10000	1,6	6250,00
	Rata-rata	10333	1,6	6458,33
c	11 x 50 x 120 cm	10500	1,8	5833,33
		11500	1,8	6388,89
		11000	1,8	6111,11
	Rata-rata	11000	1,8	6111,11
2	Dinding Batu Bata			
a	14 x 50 x 120 cm	8500	1,4	6071,43
		9500	1,6	5937,50
		9000	1,5	6000,00
	Rata-rata	9000	1,5	6002,98

Dari hasil perhitungan Tabel 4. kekakuan dinding panel menggunakan tulangan anyaman bambu Ukuran 9 x 50 x 120 cm diperoleh kekakuan rata-rata sebesar 5773,81 N/mm, Ukuran 10 x 50 x 120 cm diperoleh kekakuan rata-rata sebesar 6458,33 N/mm dan Ukuran 11 x 50 x 120 cm diperoleh kekakuan rata-rata sebesar 6111,11 N/mm, sedangkan dinding batu bata ukuran 14 x 50 x 120 cm di peroleh kekakuan rata-rata sebesar 6002,98 N/mm, dengan demikian maka kekakuan dinding panel tebal 10 cm dengan kekakuan dinding batu bata memiliki kekakuan selisih hanya 7.05 %.

3). Momen retak teoritis

Pengujian kuat lentur dinding panel dan dinding batu bata dilakukan dengan memakai alat uji kuat lentur dinding panel dan dinding batu bata. Untuk mengetahui hasil perhitungan Mretak secara teoritis dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan momen lentur pada kondisi Mretak teoritis

No	P _{retak awal} (N)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	MOR (N/mm ²)	M _{Retak} (N.mm)	M _{Retak} (kN.m)
A. Dinding panel							
1	9000	1200	500	90	4.000	2701077	2.701
	9000	1200	500	90	4.000	2701077	2.701
	8500	1200	500	90	3.778	2551017	2.551
					3.926		2.651
2	10500	1200	500	100	3.780	3151139	3.151
	10500	1200	500	100	3.780	3151139	3.151
	10000	1200	500	100	3.600	3001085	3.001
Rata - rata					3.720		3.101
3	10500	1200	500	110	3.124	3151041	3.151
	11500	1200	500	110	3.421	3451140	3.451
	11500	1200	500	110	3.421	3451140	3.451
Rata - rata					3.322		3.351
B. Dinding Pasangan Batu Bata							
1	8500	1200	500	140	1,561	2550200	2,550
	9500	1200	500	140	1,745	2850200	2,850
	9000	1200	500	140	1,653	2702000	2,700
Rata - rata					1,653		2,700

Dari hasil perhitungan kuat lentur teoritis dinding panel menggunakan tulangan anyaman bambu Ukuran 9 x 50 x 120 cm diperoleh Mretak rata-rata sebesar 2,651 kNm, Ukuran 10 x 50 x 120 cm diperoleh Mretak rata-rata sebesar 3,101 kNm dan Ukuran 11 x 50 x 120 cm diperoleh Mretak rata-rata sebesar 3,351 kNm, sedangkan dinding batu bata ukuran 14 x 50 x 120 cm di peroleh Mretak rata-rata sebesar 2,700 kNm. Secara teoritis ukuran dinding panel yang optimum dan kekuatannya sama dengan dinding batu bata adalah tebal 10 cm, yaitu selisihnya sebesar 12.93 %.

4). Momen retak Eksperimental

Pengujian kuat lentur dinding panel dan dinding batu bata dilakukan dengan memakai alat uji kuat lentur dinding panel dan dinding batu bata. Untuk perhitungan momen secara eksperimen dinding panel dan dinding batu bata pada Tabel 6. Untuk menghitung kuat lentur (Mretak) dinding panel dan dinding batu bata secara eksperimen digunakan rumus sebagai berikut :

$$M_{\text{retak eksperimental}} = \frac{1}{8} \cdot q_{bs} \cdot L^2 + \frac{1}{4} \cdot P_{\text{retak}} \cdot L \quad (2)$$

Tabel 6. Perhitungan momen lentur pada kondisi Mretak secara eksperimen

No	Pengujian	P _{retak awal} (kN)	Berat jenis (kN/m ³)	L (m)	W (kN)	q = W/L (kN/m)	M _{Retak} (kNm)
1 Dinding Panel							
a	9 x 50 x 120 cm	9,0	1,641	1,2	0,886	0,738	2,918
		9,0	1,559	1,2	0,842	0,702	2,897
		8,5	1,520	1,2	0,821	0,684	2,737
	Rata-rata	8,8	1,573	1,2	0,850	0,708	2,851
b	10 x 50 x 120 cm	10,5	1,578	1,2	0,947	0,789	3,374
		10,5	1,622	1,2	0,973	0,811	3,387
		10,0	1,593	1,2	0,956	0,797	3,228
	Rata-rata	10,3	1,598	1,2	0,959	0,799	3,330
c	11 x 50 x 120 cm	10,5	1,623	1,2	1,071	0,893	3,411
		11,5	1,661	1,2	1,096	0,913	3,723
		11,0	1,618	1,2	1,068	0,890	3,559
	Rata-rata	11,0	1,634	1,2	1,078	0,899	3,564
2 Dinding Batu Bata							
a	14 x 50 x 120 cm	8,5	2,157	1,2	1,812	1,510	3,136
		9,5	2,231	1,2	1,874	1,562	3,477
		9,0	2,187	1,2	1,837	1,531	3,303
	Rata-rata	9,0	2,192	1,2	1,841	1,534	3,305

Dari hasil perhitungan kuat lentur secara eksperimen dinding panel menggunakan tulangan anyaman bambu Ukuran 9 x 50 x 120 cm diperoleh M_{retak} rata-rata sebesar 2,851 kNm, Ukuran 10 x 50 x 120 cm diperoleh M_{retak} rata-rata sebesar 3,330 kNm dan Ukuran 11 x 50 x 120 cm diperoleh M_{retak} rata-rata sebesar 3,564 kNm, sedangkan dinding batu bata ukuran 14 x 50 x 120 cm di peroleh M_{retak} rata-rata sebesar 3,305 kNm. Secara eksperimen ukuran dinding panel yang optimum dan kekuatannya sama dengan dinding batu bata adalah tebal 10 cm, yaitu hanya selisih sebesar 0,75 %.

5) Perbandingan Berat Jenis

Perhitungan perbandingan berat jenis dilakukan untuk membandingkan antara berat jenis dinding panel dengan dinding batu bata. Untuk mengetahui perbandingan berat jenis dinding panel dengan dinding batu bata lihat Tabel 7.

Tabel 7 Perbandingan berat jenis dinding panel dan dinding batu bata.

No	Berat (kg)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Volume (cm ³)	Berat jenis (kg/cm ³)	Berat jenis (ton/m ³)
A. Dinding Panel							
1	88,6	120	50	9	54000	0,00164	1,641
	84,2	120	50	9	54000	0,00156	1,559
	82,1	120	50	9	54000	0,00152	1,520
Rata - rata						0,00157	1,573
2	94,7	120	50	10	60000	0,00158	1,578
	97,3	120	50	10	60000	0,00162	1,622
	95,6	120	50	10	60000	0,00159	1,593
Rata - rata						0,00160	1,598
3	107,1	120	50	11	66000	0,00162	1,623
	109,6	120	50	11	66000	0,00166	1,661
	106,8	120	50	11	66000	0,00162	1,618
Rata - rata						0,00163	1,634
B. Dinding Pasangan Batu Bata							
1	181,2	120	50	14	84000	0,00216	2,157
	187,4	120	50	14	84000	0,00223	2,231
	183,7	120	50	14	84000	0,00219	2,187
Rata - rata						0,00219	2,192

Dari hasil perhitungan Tabel V.16 dinding batu bata ukuran 14 x 50 x 120 cm di peroleh berat jenis rata-rata sebesar 2,192 ton/m³, sedangkan dinding panel menggunakan tulangan anyaman bambu Ukuran 9 x 50 x 120 cm diperoleh berat jenis rata-rata sebesar 1,573 ton/m³, Ukuran 10 x 50 x 120 cm diperoleh berat jenis rata-rata sebesar 1,598 ton/m³ dan Ukuran 11 x 50 x 120 cm diperoleh berat jenis rata-rata sebesar 1,634 ton/m³, dengan demikian dinding panel dengan tebal 10 cm lebih ringan dibandingkan dengan dinding batu bata, yaitu memiliki selisih sebesar 27.1 %.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang sudah diuraikan di atas, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Kuat lentur rata-rata dinding panel tebal 10 cm pada kondisi Mretak teoritis adalah 3.101 kNm, sedangkan kuat lentur dinding batu bata pada kondisi Mretak teoritis adalah 2.700 kNm, sehingga dinding panel secara teoritis lebih lentur, yaitu sebesar 12.93 % dari pada dinding batu bata.
- Kuat lentur rata-rata dinding panel tebal 10 cm pada kondisi Mretak eksperimen adalah 3.330 kNm, sedangkan kuat lentur dinding batu bata tebal 14 cm pada kondisi Mretak eksperimen adalah 3.305 kNm, sehingga secara eksperimen kuat lenturnya hampir sama, yaitu sebesar 0.75 %.
- Perbandingan berat jenis antara dinding batu bata dengan dinding panel tebal 10 cm menunjukkan bahwa dinding panel lebih ringan dari pada dinding batu bata tebal 14 cm, yaitu dari 2,192 ton/m³ menjadi 1,598 ton/m³ atau memiliki presentase sebesar 27.1 %.

- d). Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa dinding panel menggunakan tulangan anyaman bambu dengan agregat pecahan genteng sebagai pengganti agregat kasar tebal 10 cm memiliki kekuatan lentur yang hampir sama dengan dinding batu bata tebal 14 cm, bahkan dinding panel lebih ringan.

Daftar Pustaka

- Departemen Pekerjaan Umum, 1971. “*Peraturan Umum bahan Bangunan Indonesia (PBI)*”, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1982. *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Haryadi, 2011. *Uji Kuat Lentur Dinding Dari Tulangan Anyaman Bambu Yang Diplester*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Morisco., 1996, *Bambu sebagai Bahan Rekayasa*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Morisco, 1999. “*Rekayasa Bambu*”, Nafiri, Offset, Yogyakarta
- Mulyono, Tri, 2004. *Teknologi Beton*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Murdock, L.J, dan K.M.Brook, 1999. *Bahan dan Praktek Beton*, terjemahan Hindarko, S, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Prabowo, T, 2012. “*Tinjauan Kuat Lentur Dinding Panel Dengan Tulangan Anyaman Bambu Antara Yang Diplester Dengan Yang Dicor*”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta
- Rofiq, M. S., 2010. *Model Sambungan Dinding Panel Dengan Agregat Pecahan Genteng Tanpa Menggunakan Pasir*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Tjokrodinuljo, K., 1996. *Teknologi Beton*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Winarso, A, 2011. *Tinjauan Kuat Lentur Rangkaian Dinding Panel Dengan Perkuatan Tulangan Bambu Yang Menggunakan Agregat Pecahan Genteng*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Yap, F., 1983, *Bambu Sebagai Bahan Bangunan*, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Cipta Karya, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.