

## KARAKTERISTIK PASCA ELASTIK DINDING PANEL *STYROFOAM* DENGAN TULANGAN HORIZONTAL AKIBAT BEBAN BOLAK-BALIK

oleh:

**Budi Satiawan**

Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta

**Iman Satyarno**

Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada

**Kardiyono Tjokrodimuljo**

Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada

**ABSTRACTS** : *An earth quake is natural phenomenon. We can not predict instinctively when it happens and how big the effect will be. The damage after an earth quake on a building in general occurs in the non structural particularly on the wall rather than on its structure sector. The effect of non-structure damage may suffer a financial lost or the worst is to fall victims. The materials such as brick or concrete block are having weakness on their brittle. This research is aimed at finding out the behavior of styrofoam panels wall including the load displacement, crack pattern, drift ratio, stiffness, maximum shear strength, shear modulus, damping ratio and ductility. The research was conducted by using three specimens with the dimension of 300 x 300 x 10 cm<sup>3</sup>, they were one open frame without the infilled wall (RT), one concrete styrofoam wall without horizontal bar (DBSTT) of 10 cm thick, and one styrofoam panels wall with horizontal bar of  $\phi$ 5-250 (DPSDT). The DPSDT used the infilled styrofoam panels with the dimension of 290 x 25 x 7,5 cm<sup>3</sup>. The test was performed by applying the lateral cyclic load based on the ASTM E 2126-02a. The result is as follow, the additional horizontal bar of  $\phi$ 5-250 on styrofoam panels wall (DPSTT) is able to support the maximum structure displacement of 200,137 % from the initial DBSTT. The range of Equivalent Viscous Damping Ratio (EVDR) between DBSTT and DPSDT is not far, but the DPSDT has a structure capability to dissipated external loading up to a significant ductility level ( $\mu > 45$ ). The average load of  $P_{yield}$  on DBSTT is 35,937 kN followed by DPSDT with 18,246 kN initially (based on Equivalent Energy Elastic-Plastic curve). The failure mechanism on DBSTT is shear failure, meanwhile on the DPSDT is sliding failure which occurs along the surface joints between styrofoam panel and mortar.*

**Keywords:** *Ductility, brittle, cyclic, RT, DBSTT, DPSDT*

### Pendahuluan

Dinding bangunan umumnya terbuat dari bata atau batako, namun kedua bahan ini mempunyai beberapa kelemahan diantaranya berat dan getas (*brittle*). Akibat beratnya yang cukup besar maka akan menaikkan beban mati struktur sehingga beban gempa juga akan naik. Hal ini disebabkan karena beban gempa akan meningkat secara linier terhadap berat struktur bangunan tersebut. Sedangkan akibat dari sifatnya yang getas (*brittle*) maka pada tingkat perubahan bentuk (*deformation*) yang relatif rendah retak-

retak tidak dapat dihindari. Dengan demikian, bahan yang ringan dan liat (*ductile*) akan lebih baik jika digunakan sebagai dinding bangunan tahan gempa dan tingkat resikonya pun lebih rendah (Sarwidi, 2000).

Salah satu alternatif untuk mengurangi beban pada suatu struktur adalah dengan mengganti dinding bata atau dinding batako dengan beton *styrofoam* ringan yang dimanfaatkan sebagai dinding panel *styrofoam*. Karena beton *styrofoam* ringan mempunyai berat sekitar 718 kg/m<sup>3</sup>, lebih ringan apabila dibandingkan dengan berat bata yaitu 1700 kg/m<sup>3</sup> dan berat batako

yaitu 2200 kg/m<sup>3</sup> (Fani Darmawan, 2004). Disamping itu beton *styrofoam* juga memiliki daktilitas yang lebih baik jika dibandingkan dengan bata maupun batako. Penelitian ini akan melihat karakteristik dinding dengan pengisi bahan *styrofoam* dengan rangka balok dan kolom praktis serta tulangan horizontal akan diuji dengan pembebanan lateral bolak-balik. Penggunaan panel *styrofoam* diharapkan mempunyai tingkat daktilitas yang tinggi sehingga dapat menyerap energi lebih besar pada saat terjadinya gempa.

### Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan mengetahui kemampuan material dinding pengisi yang terbuat dari beton *styrofoam* yang dibebani

dengan pembebanan lateral bolak-balik searah sumbu kuat dinding (*strong direction wall*) terhadap hubungan beban-simpangan (*load-displacement*), kekakuan (*stiffness*), pola retak, *drift ratio*, kuat geser maksimum (*maximum shear strength*), redaman (*damping*) dan daktilitas pada struktur rangka terbuka tanpa pengisi (RT), dinding beton *styrofoam* cor di tempat tanpa tulangan horizontal (DBSTT) dan rangka dengan dinding pengisi panel *styrofoam* diberi tulangan horizontal  $\phi 5 - 250$  (DPSDT).

### Metode Penelitian

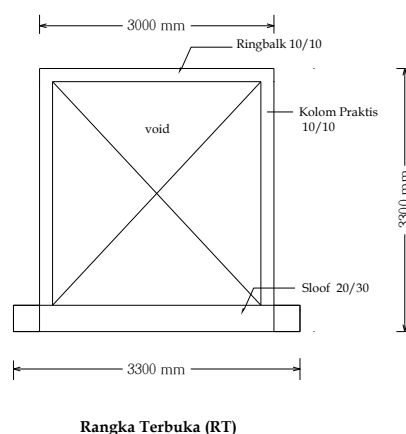
#### Model Benda Uji

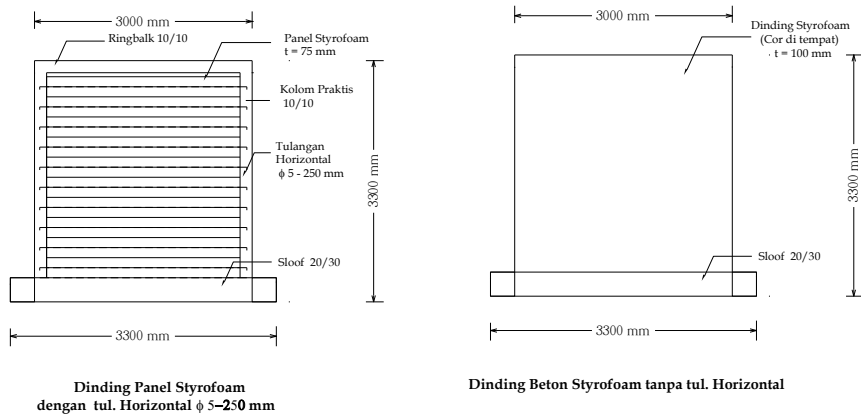
Dalam penelitian ini digunakan 3 macam model benda uji sesuai **Tabel 1**.

**Tabel 1** Skema dimensi benda uji

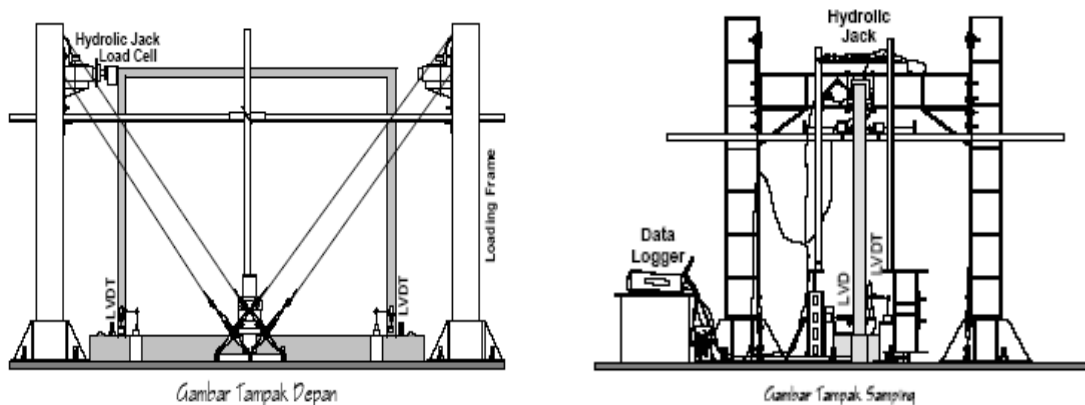
Type	Pasangan	Tinggi (mm)	Lebar (mm)	Tul. Horizontal
RT	-	3000	3000	-
DBSTT	Cor di tempat	3000	3000	-
DPSDT	Panel <i>styrofoam</i>	3000	3000	P5-250

Untuk model benda uji dapat dilihat pada **Gambar 1**.





**Gambar 1** Gambar benda uji RT, DBSTT dan DPSDT



**Gambar 2** Setting up pengujian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian berupa *loading frame*, *load cell*, *crane*, *rigid floor*, *hydraulic jack* dengan kapasitas 50 ton, *data lodger*, dan komputer. Untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi digunakan 6 buah LVDT dengan ketelitian 0,01 mm, yang semuanya dihubungkan ke *data lodger*. *Setting up* pengujian ketiga benda uji tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2**.

### Material

Dalam penelitian ini material-material yang dipakai diperoleh dari kawasan Yogyakarta dan sekitarnya. Bahan pengikat yang dipakai adalah semen portland tipe I merek Indocement dalam kemasan 50 kg. Air yang dipergunakan dalam pembuatan model dan

sample benda uji berasal dari Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil UGM. Agregat dibagi menjadi dua, yaitu agregat halus (pasir) yang berasal dari sungai Progo, Kulon Progo dan agregat kasar (batu pecah) yang berasal dari Clereng, Yogyakarta. Agregat halus berupa pasir yaitu lolos saringan  $\phi$  4,8 dan agregat kasar berupa batu pecah dengan ukuran maksimum 20 mm. Baja tulangan yang digunakan dalam membentuk rangka beton bertulang adalah baja merk IS (Ispat, Surabaya) dengan tulangan polos  $\phi$ 8 mm ( $f_y = 341,62$  MPa) sebagai tulangan kolom dan balok praktis. Tulangan  $\phi$ 6 mm ( $f_y = 263,06$  MPa) sebagai tulangan geser dan tulangan polos  $\phi$ 5 mm ( $f_y = 299,05$  MPa) sebagai tulangan horizontal pada dinding.

Untuk bahan pengisi dinding digunakan beton styrofoam (sebagai panel dengan dimensi 2900 mm x 250 mm x 75 mm dan dinding cor setempat) dengan komposisi bahan yang digunakan untuk membuat adukan beton styrofoam adalah 350 kg semen, 200 kg pasir dan 1 m<sup>3</sup> styrofoam (berat volume styrofoam 11.71 kg/m<sup>3</sup>) dengan fas 0,45. Diperoleh berat volume beton styrofoam 0,642 t/m<sup>3</sup>, kuat tekan rata-rata 1,955 MPa. Untuk mortar semen digunakan mortar campuran 1Pc : 6Ps (perbandingan volume) dengan kuat tekan rata-rata 4,71 MPa. Beton yang digunakan untuk struktur beton landasan adalah beton ready mix dengan  $f_c' = 25,90$  MPa dan beton yang digunakan untuk kolom-balok praktis dengan perbandingan campuran 1Pc:2Ps:3Kr (perbandingan volume) untuk dengan  $f_c' = 26,35$  MPa.

### Riwayat Pembebanan

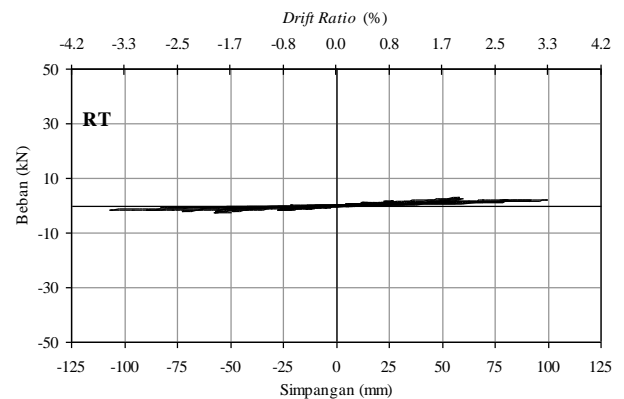
Pembebanan lateral bolak-balik diberikan searah sumbu kuat dinding (*strong direction wall*) dengan mengacu pada ASTM E 2126-02a Metode B (*Amplitudes of the Reversed Cycles*). Pembebanan didasarkan pada *displacement control* dengan simpangan ultimit ( $\Delta_u$ ) diambil dari pengujian dinding panel styrofoam akibat beban statik.

### Hasil Penelitian

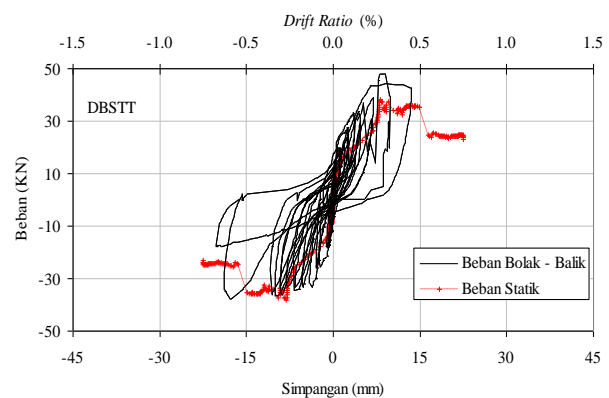
#### Hysteretic Curve

Hysteretic energi ini merupakan energi serapan (*energy dissipated*) pada dinding untuk setiap siklus dimana besarnya energi serapan pada setiap siklus menunjukkan kemampuan struktur untuk menyerap dan meredam beban luar yang bekerja. Dari hasil pengujian rangka terbuka (RT), dinding styrofoam tanpa tulangan horizontal (DBSTT) dan dinding panel styrofoam dengan tulangan horizontal  $\phi 5-250$

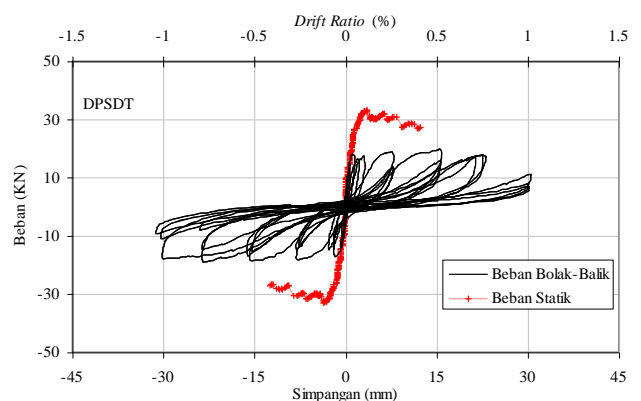
(DPSDT), diperoleh *hysteretic Curve* seperti pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5 (kurva beban-simpangan akibat pembebanan statik diperoleh dari penelitian yang dilakukan oleh Agustin, 2005).



Gambar 3 Beban-simpangan Hysteretic Curve RT



Gambar 4 Beban-simpangan hysteretic curve DBSTT



Gambar 5 Beban-simpangan hysteretic curve DPSDT

## Kekakuan Elastik, Beban, Simpangan Dan Daktilitas

Tabel 2 Beban, simpangan dan *drift ratio* pada kondisi initial

Kondisi Initial						
Kondisi	Siklus Positif			Siklus Negatif		
	Beban (kN)	Simp. (mm)	<i>Drift Ratio</i> (%)	Beban (kN)	Simp. (mm)	<i>Drift Ratio</i> (%)
<b>RT</b>						
<i>First crack</i>	0.780	8.690	0.290	0.780	8.690	0.290
<i>Yield</i>	2.440	32.460	1.082	2.220	29.050	0.968
<i>Peak</i>	2.840	57.310	1.910	2.540	57.280	1.909
<i>Failure</i>	2.280	79.210	2.640	2.030	71.610	2.387
<b>DBSTT</b>						
<i>First crack</i>	15.696	0.532	0.018	15.696	0.532	0.018
<i>Yield</i>	38.369	1.891	0.063	33.506	0.922	0.031
<i>Peak</i>	47.961	8.925	0.298	37.670	17.790	-0.593
<i>Failure</i>	38.369	9.120	0.304	30.136	18.398	0.613
<b>DPSDT</b>						
<i>First crack</i>	5.994	0.075	0.003	5.994	0.075	0.003
<i>Yield</i>	18.374	0.581	0.019	18.118	0.573	0.019
<i>Peak</i>	19.708	15.620	0.521	19.071	23.400	0.780
<i>Failure</i>	15.767	24.969	0.832	15.257	30.105	1.004

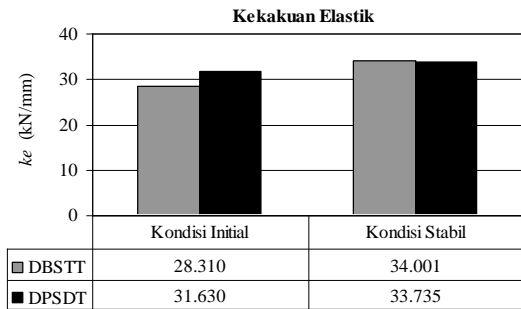
Tabel 3 Beban, simpangan dan *drift ratio* pada kondisi stabil

Kondisi Stabil						
Kondisi	Siklus Positif			Siklus Negatif		
	Beban (kN)	Simp. (mm)	<i>Drift Ratio</i> (%)	Beban (kN)	Simp. (mm)	<i>Drift Ratio</i> (%)
<b>RT</b>						
<i>First crack</i>	0.780	8.690	0.290	0.780	8.690	0.290
<i>Yield</i>	1.890	24.590	0.820	1.810	20.740	0.691
<i>Peak</i>	2.410	59.560	1.985	2.060	54.900	1.830
<i>Failure</i>	1.930	88.450	2.948	1.650	102.410	3.414
<b>DBSTT</b>						
<i>First crack</i>	15.696	0.532	0.018	15.696	0.532	0.018
<i>Yield</i>	21.108	0.563	0.019	30.891	1.011	0.034
<i>Peak</i>	24.427	1.290	0.043	34.512	6.750	2.250
<i>Failure</i>	25.250	3.305	0.110	19.542	9.105	0.304
<b>DPSDT</b>						
<i>First crack</i>	5.994	0.075	0.003	5.994	0.075	0.003
<i>Yield</i>	14.706	0.465	0.015	15.222	0.425	0.014
<i>Peak</i>	17.952	1.295	0.043	17.324	25.211	0.840
<i>Failure</i>	14.362	23.654	0.788	13.860	25.211	0.840

Terlihat jelas pada **Tabel 2** dan **Tabel 3** bahwa benda uji rangka terbuka (RT) memiliki perbedaan karakteristik yang

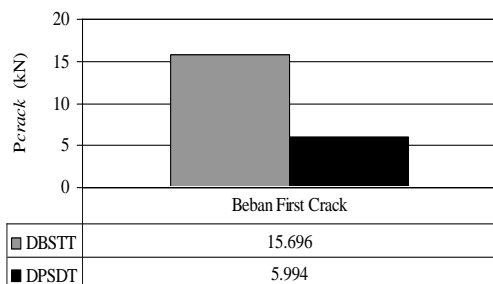
sangat jauh dengan kedua benda uji lainnya. Karena itu untuk perbandingan benda uji selanjutnya maka benda uji rangka terbuka

(RT) tidak ikut dibandingkan agar tidak timbul kerancuan.



**Gambar 6** Nilai rata-rata kekakuan elastik ( $k_e$ )

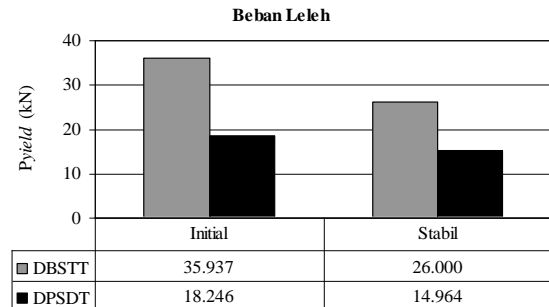
Pada **Gambar 6** terlihat bahwa tidak terjadi perbedaan kekakuan elastik ( $k_e$ ) yang sangat besar pada benda uji DBSTT dan DPSDT. Walaupun secara fisik dimensi benda uji DPSDT memiliki ketebalan yang lebih kecil jika dibandingkan benda uji DBSTT, tetapi benda uji DPSDT kekakuan elastik dinding 111,73% lebih besar daripada benda uji DBSTT untuk kondisi pembebanan initial. Hal ini disebabkan dari adanya balok-kolom praktis yang terbuat dari beton normal yang memiliki kekakuan lebih besar jika dibandingkan balok-kolom yang dibuat dari beton *styrofoam* yang berfungsi sebagai pengekang dan akibat adanya tulangan horizontal yang ada pada benda uji DPSDT.



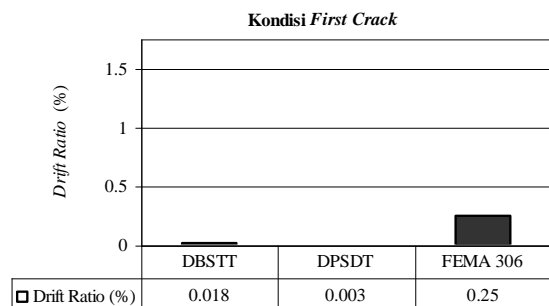
**Gambar 7** Beban rata-rata pada saat retak pertama ( $P_{crack}$ )

Pada **Gambar 7** terlihat besarnya beban rata-rata retak pertama ( $P_{crack}$ ) pada benda uji DPSDT (5,994 kN) relatif kecil terhadap

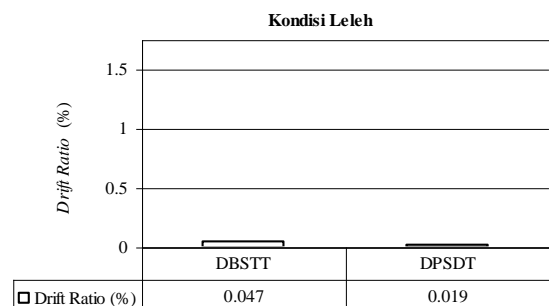
benda uji DBSTT (15,696 kN). Ini menunjukkan bahwa penambahan tulangan horizontal pada dinding panel *styrofoam* tidak terlihat berpengaruh terlalu besar terhadap peningkatan kemampuan dinding panel *styrofoam* dalam menahan beban yang mengakibatkan retak pertama.



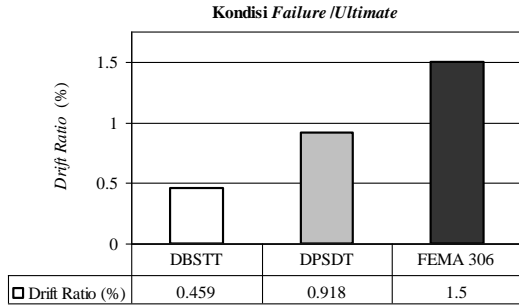
**Gambar 8** Beban rata-rata pada saat leleh ( $P_{yield}$ )



**Gambar 9** Drift ratio rata-rata pada saat retak pertama ( $\Delta_{crack}$ )

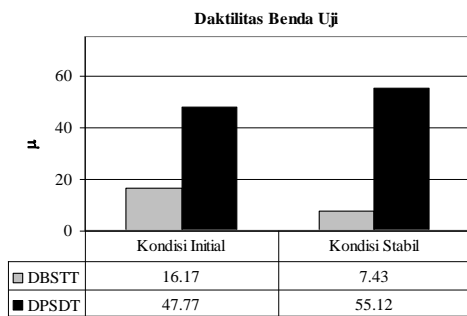


**Gambar 10** Drift ratio rata-rata pada saat leleh ( $\Delta_{yield}$ )



**Gambar 11** Drift ratio rata-rata pada saat runtuh ( $\Delta_{failure}$ )

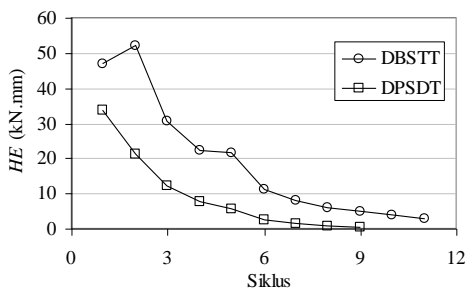
Selisih  $\Delta_{failure}$  yang terjadi pada kondisi pembebanan initial relatif besar (**Gambar 11**) yaitu sebesar 100,137%, ini menunjukkan bahwa dengan penambahan tulangan horizontal pada dinding panel styrofoam secara efektif. dapat ikut menambah panjang simpangan horizontal akhir dari struktur.



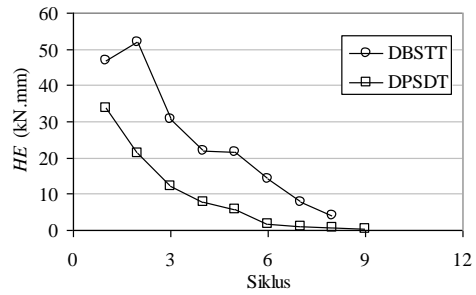
**Gambar 12** Daktilitas rata-rata pada benda uji DBSTT dan DPSDT

**Hysteretic Energy (He)**

Hysteretic Energy (HE) dihitung berdasarkan luasan loops pada setiap siklus pembebanan yang terjadi.



**Gambar 13** Hysteretic energy kondisi initial

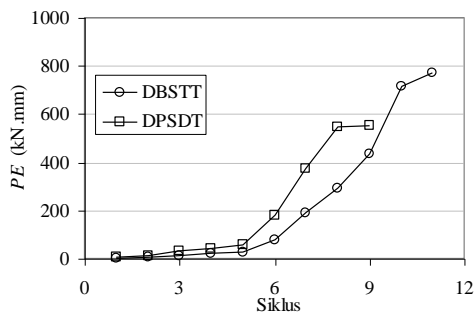


**Gambar 14** Hysteretic energy kondisi stabil

Dari **Gambar 5.15** dan **5.16** terlihat penurunan nilai Hysteretic energy hingga keruntuhan struktur. Pada siklus pertama hysteretic energy benda uji DPSDP sebesar 71,9 % (33,735 kN.mm) dari benda uji DBSTP (46,918 kN.mm).

**Energi Potensial (PE)**

Dari hasil pengujian ketiga benda uji diperoleh energi potensial (potential energy). Perbandingan energi potensialnya dapat dilihat pada **Gambar 15**. Benda uji DPSDT memiliki energi potensial (PE) yang paling besar hingga saat terjadinya siklus keruntuhannya.

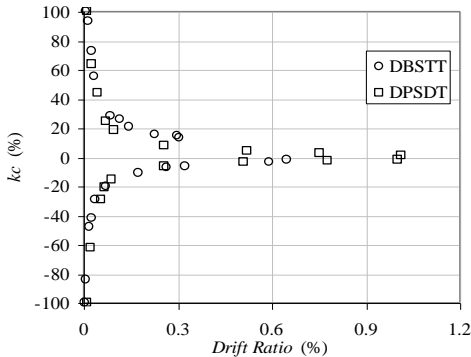


**Gambar 15** Energi potensial pada kondisi initial

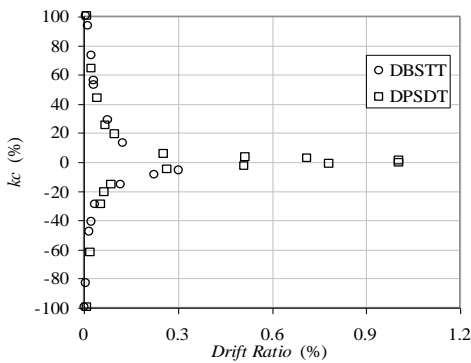
Besaran energi potensial sangat erat kaitannya dengan perhitungan redaman struktur. Karena dalam menentukan besarnya Equivalent Viscous Damping Ratio (EVDR), energi potensial (PE) merupakan pembagi dari besarnya energi yang

terdisipasi (*hysteretic energy*) pada saat siklus pembebanan tertentu.

**Kekakuan Siklus ( $K_c$ )**



**Gambar 16** Degradasi kekakuan siklus pada kondisi initial



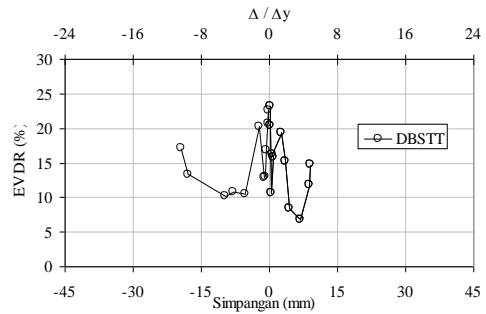
**Gambar 17** Degradasi kekakuan siklus pada kondisi stabil

Pada benda uji DBSTT dan DPSDT menjelang terjadinya keruntuhan struktur tidak terlihat terjadinya peningkatan kekakuan yang berarti (**Gambar 16** dan **Gambar 17**), ini berarti mekanisme keruntuhan getas tidak terjadi pada kedua benda uji tersebut dikarenakan degradasi kekakuan yang ada.

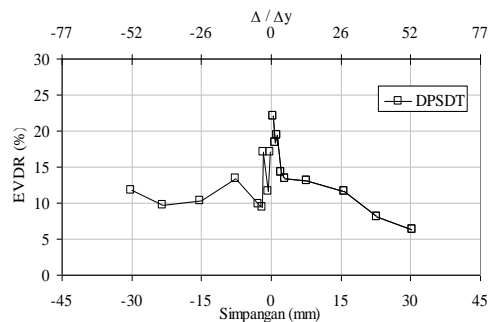
**Equivalent Viscous Damping Ratio (EVDR)**

Dari pengujian yang telah dilakukan terlihat (**Gambar 18** dan **Gambar 19**) bahwa besaran *Equivalent Viscous Damping Ratio* (EVDR) yang dimiliki antara benda uji DBSTT dan DPSDT tidak terlihat perbedaan yang terlalu besar, tapi pada benda uji DPSDT terlihat kemampuan struktur dalam

meredam beban luar yang diterima hingga mencapai nilai daktilitas yang sangat signifikan disaat keruntuhannya ( $\mu > 45$ ). Benda uji DPSDT memiliki kemampuan redaman paling panjang hingga kondisi pasca elastiknya. Dengan demikian penambahan tulangan horisontal pada dinding panel *styrofoam* efektif bagi struktur dalam meredam beban gempa.



**Gambar 18** EVDR dan Simpangan (daktilitas) kondisi initial (DBSTT)



**Gambar 19** EVDR dan Simpangan (daktilitas) kondisi initial (DPSDT)

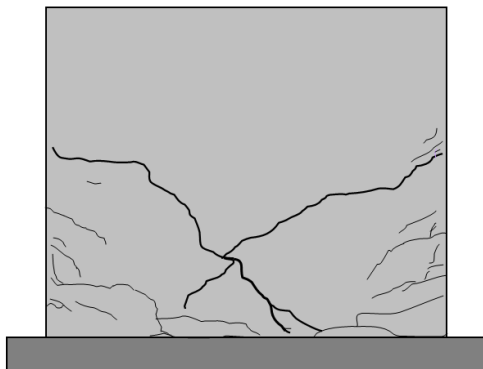
**Pola Retak/Tipe Kerusakan Struktur**

Pada benda uji dinding beton *styrofoam* tanpa tulangan horizontal, *first crack* terjadi pada pembebanan siklus ketiga yaitu pada beban 15,696 kN saat simpangan 0,532 mm (*drift ratio* 0,18%). Retak yang terjadi masih halus dengan ketebalan 0,02 mm, retak – retak yang ada terus bertambah dan menjalar pada masing-masing sisi dinding arah pembebanan

Pola retak diagonal sebagai kegagalan struktur dengan tipe geser (*shear failure*) seperti terlihat pada **Gambar 20** sudah



mulai terlihat jelas ketika pembebanan sampai pada siklus ke-6 dan berikutnya. Pada kondisi initial, benda uji DBSTT memiliki beban puncak ( $P_{peak}$ ) 47,961 kN dengan simpangan puncak 8,925 mm (*drift ratio* 0,298 %) untuk siklus positif, sedangkan untuk siklus negatif beban puncaknya ( $P_{peak}$ ) 37,670 kN dengan *displacement* saat puncak 17,79 mm (*drift ratio* 0,593 %).

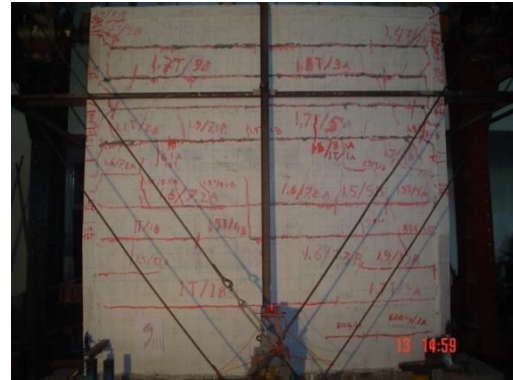


**Gambar 20** Pola retak DBSTT

Saat siklus ke 11, retak yang terjadi sudah mulai bertemu (dari bagian kiri dan kanan pembebanan) sehingga terjadi keruntuhan struktur dimana retak yang terjadi sudah tidak lagi dapat kembali menutup. Kegagalan mayoritas yang terjadi pada benda uji dinding beton *styrofoam* tanpa tulangan horizontal (DBSTT) adalah kegagalan struktur dengan tipe geser (*shear failure*).

Pada benda uji dinding panel *styrofoam* dengan tulangan horizontal  $\phi 5-250$  (DPSDT) *first crack* terjadi pada pembebanan siklus pertama yaitu saat beban 5,994 kN dengan simpangan 0,075 mm (*drift ratio* 0,003 %), retak yang terjadi masih halus dengan ketebalan 0,02 mm pada pertemuan antara panel *styrofoam* dengan mortar lapis ke-2 (dari lapisan paling atas) pada pembebanan siklus kedua, retak yang terjadi sudah mulai bertemu (dari arah bagian kiri dan kanan pembebanan) sehingga telah

mengakibatkan kenaikan beban yang relatif tidak lagi terlalu signifikan seperti pada pembebanan saat siklus pertama yang juga mempengaruhi kekakuan struktur dalam menerima beban luar.



**Gambar 21** Pola retak dinding panel *styrofoam* (DPSDT)

Hal yang memicu terjadinya pola retak demikian dikarenakan dari faktor bentuk pasangan panel yang tersusun terhadap mortarnya, hal ini merupakan daerah terlemah yang ada pada struktur dinding tersebut. Dari jalannya pengujian dapat diperoleh suatu gambaran bahwa jika retak yang terjadi dari sisi kiri dan kanan benda uji sudah bertemu dan menunjukkan jenis tipe keruntuhan akhir dari struktur dinding, akan mengakibatkan kemampuan struktur dalam menerima beban luar yang ada sudah tidak sebaik disaat keretakan masih belum bertemu antara sisi kiri dan kanan dinding. Kerusakan mulai terlihat menjalar pada kolom saat pembebanan siklus ke-4. Kerusakan pada struktur kolom diawali dari terjadinya retak – retak halus dengan ketebalan 0,02 mm. Kerusakan tersebut terjadi dari penjaran pola retak *sliding* yang lebih dahulu terjadi pada lapisan antara panel dan mortarnya, kejadian ini terus berlanjut bertambah banyak seiring bertambahnya peningkatan beban yang diberikan pada struktur tersebut hingga terjadinya keruntuhan pada benda uji.

Pada kondisi initial, beban puncak ( $P_{peak}$ ) 19,708 kN dengan simpangan saat puncak sebesar 15,26 mm (*drift ratio* 0,521 %) untuk siklus positif, sedangkan untuk siklus negatif beban puncaknya ( $P_{peak}$ ) 19,071 kN dengan simpangan 23,40 mm (*drift ratio* 0,78 %). Mekanisme kegagalan yang terjadi pada benda uji dinding panel *styrofoam* dengan perkuatan (DPSDT) adalah tipe kegagalan *sliding* (**Gambar 21**).

### Faktor Respons Gempa ( $C_1$ ) Dan Wilayah Gempa Maksimum

Berdasarkan jenis tanah dan wilayah gempa maksimum pemakaian dinding beton *styrofoam* tanpa tulangan horizontal (DBSTT) dan dinding panel *styrofoam* dengan perkuatan tulangan horizontal (DPSDT) (**Tabel 4**) dapat diperoleh kemampuan jenis struktur terhadap berbagai macam kondisi tersebut.

**Tabel 4** Kapasitas benda uji untuk setiap kondisi pada tiap wilayah gempa

Wil.	$C_1$	Kondisi Tanah					
		$C_{maks}$ (SNI-2002)			Keterangan		
		Lunak	Sedang	Keras	Lunak	Sedang	Keras
<b>DBSTT</b>							
I	1.89	0.20	0.13	0.10	Aman	Aman	Aman
II		0.50	0.38	0.30	Aman	Aman	Aman
III		0.75	0.55	0.45	Aman	Aman	Aman
IV		0.85	0.70	0.60	Aman	Aman	Aman
V		0.90	0.83	0.70	Aman	Aman	Aman
VI		0.95	0.90	0.83	Aman	Aman	Aman
<b>DPSDT</b>							
I	0.98	0.20	0.13	0.10	Aman	Aman	Aman
II		0.50	0.38	0.30	Aman	Aman	Aman
III		0.75	0.55	0.45	Aman	Aman	Aman
IV		0.85	0.70	0.60	Aman	Aman	Aman
V		0.90	0.83	0.70	Aman	Aman	Aman
VI		0.95	0.90	0.83	Aman	Aman	Aman

Pada **Tabel 4** terlihat bagaimana perilaku benda uji DBSTT dan DPSDT ternyata mampu berada di semua wilayah gempa yang ada di Indonesia, hal ini tidak terlepas dari pengaruh karakteristik beton *styrofoam* sebagai beton ringan.

### Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada struktur rangka terbuka (RT), dinding beton *styrofoam* tanpa tulangan horizontal (DBSTT) dan dinding panel *styrofoam* dengan tulangan horizontal  $\phi 5-250$  (DPSDT), diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Besarnya beban rata-rata retak pertama ( $P_{crack}$ ) pada benda uji DPSDT (5,994 kN) relatif kecil terhadap benda uji DBSTT (15,696 kN). Besarnya beban rata-rata  $P_{yield}$  pada benda uji DPSDT sebesar 35,937 KN diikuti benda uji DBSTT sebesar 18,246 KN pada kondisi pembebanan initial.
2. Besarnya simpangan rata-rata saat leleh ( $\Delta_{yield}$ ) pada benda uji DBSTT sebesar 1,407 mm atau *drift ratio* 0,047% (kondisi initial), sedangkan untuk benda uji DPSDT sebesar 0,557 mm atau *drift ratio* 0,019% (kondisi initial). Ini menunjukkan bahwa penambahan tulangan horisontal pada dinding panel

3. *styrofoam* tidak berpengaruh terhadap peningkatan kemampuan dinding panel *styrofoam* untuk bersimpangan dalam menerima beban yang mengakibatkan kelelahan pada struktur
4. Besarnya simpangan rata-rata  $\Delta_{failure}$  benda uji DBSTT sebesar 13,759 mm atau *drift ratio* 0,459 % (kondisi initial), sedangkan untuk benda uji DPSDT sebesar 27,537 mm atau *drift ratio* 0,918 % (kondisi initial). Benda uji DPSDT memiliki  $\Delta_{failure}$  sebesar 200,137% benda uji DBSTT, ini menunjukkan bahwa dengan penambahan tulangan horizontal pada dinding panel *styrofoam* secara efektif dapat ikut menambah panjang simpangan horizontal akhir dari struktur.
5. FEMA 306 memberikan batasan runtuh pada *drift* 1,5 % untuk dinding bata, ternyata berdasarkan pengujian dinding panel *styrofoam* hal ini tidak berlaku karena *drift ratio* pada saat runtuh hanya 61,2 % (DPSDT) dan 30,6 % (DBSTT) dari 100 % *drift ratio* keruntuhan yang diberikan oleh FEMA 306.
6. Kegagalan mayoritas yang terjadi pada benda uji dinding beton *styrofoam* tanpa tulangan horizontal (DBSTT) adalah kegagalan struktur dengan tipe geser (*shear failure*). Mekanisme kegagalan yang terjadi pada benda uji dinding panel *styrofoam* dengan perkuatan (DPSDT) adalah tipe kegagalan *sliding* yang terjadi pada lokasi antara mortar dan panel *styrofoam*.
7. *Equivalent Viscous Damping Ratio (EVDR)* yang dimiliki antara benda uji DBSTT dan DPSDT tidak terlihat perbedaan yang terlalu besar, tapi pada benda uji DPSDT terlihat kemampuan struktur dalam meredam beban luar yang diterima hingga mencapai nilai daktilitas yang sangat signifikan disaat

keruntuhannya ( $\mu > 45$ ). Dengan demikian penambahan tulangan horizontal pada dinding panel *styrofoam* efektif dalam meredam beban gempa.

#### Daftar Pustaka

- ASTM, 2003, *Standard Practical for Static Load Test for Shear Resistance of Framed Walls for Buildings*, Designation: Vol 405, E 564 – 00.
- Agustin, S.R., 2005, Karakteristik Pasca Elastik Dinding Panel *Styrofoam* dengan Tulangan Horizontal Akibat Beban Statik, Thesis Program Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Badan standarisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung, SNI 03 – 1726 – 2002*.
- Elgwady, Mohamed A., Lestuzzi, P., Badoux, Marc., *Dynamic In-Plane Behavior of URM Wall Upgraded with Composites*.
- FEMA 306, 1998, *Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings, Basic Procedures Manual*, 555 Twin Dolphin Drive, Suite 550 Redwood City, California.
- Kusuma, G. H., Andriano, T., 1993, *Desain Rangka Beton Bertulang di Daerah Rawan Gempa*, Erlangga, Jakarta
- Goto, T., Mizuno, H., Iiba, M., Kato, H., 2003, *Structural Behavior of Confined Masonry Walls, International workshop, ASLI Building, ITB*.
- Indarto, H., 2001, *Aspek Rekayasa Gempa pada Design Bangunan Rumah Sederhana*, Arnidaambar.com.
- Mangkoesoebroto, S. P., Goto, T., Khadavi, 2003, *Experimental Investigation of Full-Scale Confined Masonry in Reversed Cyclic Loading*, International workshop, ASLI Building, ITB.

Murty,C.V.R., 2003, *IITK-BMTPC Earthquake  
Tip 12*, Indian Institute of Technology  
Kanpur, Kanpur, India.