

## **KUAT TEKAN PANEL DINDING BETON RINGAN *EXPANDED POLYSTYRENE* DENGAN LAPIS LUAR PAPAN KALSIUM SILIKAT**

Desi Maryani<sup>1</sup>, Ashar Saputra<sup>2</sup>, Andreas Triwiyono<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departmen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta  
Email: desi.maryani@mail.ugm.ac.id

<sup>2</sup>Departmen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta  
Email: saputra@ugm.ac.id

<sup>3</sup>Departmen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta  
Email: andreas.triwiyono@ugm.ac.id

### **ABSTRACT**

*The need for housing in Indonesia reaches around 1 million houses per year is the reason behind an increasing demand for building materials. Prefabricated wall panels can be used as alternative building materials that have easy and fast advantages in installation. In addition, the use of precast wall panels will also save labor costs. In this study, expanded polystyrene (EPS) lightweight concrete wall panels were a composite with calcium silicate boards. Furthermore, the unity of these materials are called a sandwich panel. The purpose of this study was to determine the potential use of sandwich panels as structural wall panels in terms of compressive strength. Test specimens were 9 EPS panels measuring 1800x610x75mm; 3 of them were a composite with GRC board, 3 other with GRC board outer layer and bolt connector, and 3 panels without reinforcement. The used calcium silicate board is a trade name of GRC board with a thickness of 4mm. Compressive strength testing is carried out referring to SNI 03-3122-1992 (Fibrous Lightweight Concrete Panel). The test results obtained the compressive strength of PP-T, PGP-T, PGB-T panels in a row of 0.72 MPa, 0.84 MPa, and 1.43 MPa. The pattern of damage to the test object was marked by the release of the outer layer of the GRC board and the wall panel was fractured. It can be concluded that the addition of the GRC board outer layer and bolt connector can increase the compressive strength of the wall panel up to 200%. In contrast, the PP-T, PGP-T, and PGB-T panels do not meet the requirements of SNI 03-3122-1992. The resulted compressive strengths are so low that make the expanded polystyrene concrete panel is not available for bearing wall purpose.*

**Keywords:** *compressive strength, sandwich panel, expanded polystyrene*

### **PENDAHULUAN**

#### **Latar Belakang**

Dinding sebagai salah satu unsur dalam suatu bangunan rumah tinggal memiliki fungsi untuk menyekat dan membatasi ruangan yang satu dengan ruangan lainnya. Di Indonesia, pada umumnya rumah tinggal menggunakan dinding konvensional dari bata merah dengan perekat mortar. Bata merah dibuat dengan tanah liat yang berdimensi 5x11x20cm. Dinding bata merah memiliki berat jenis yang cukup besar yaitu sekitar 1700 kg/m<sup>3</sup>, sehingga menjadi beban yang cukup berat untuk struktur bangunan. Dinding bata merah memiliki kelemahan

pada proses pemasangannya yang relatif lama sehingga menjadi pemborosan dalam penggunaan tenaga kerja. Selain itu, proses produksi batu bata juga tidak ramah lingkungan karena mengeksploitasi lahan pertanian secara berkala. Untuk itu perlu dicari alternatif bahan bangunan yang dapat dimanfaatkan untuk menggantikan dinding bata merah yang tidak ramah lingkungan.

Inovasi beton ringan sebagai salah satu material pengganti dinding bata merah juga terus dikembangkan. Beton ringan atau *lightweight concrete* merupakan salah satu pengembangan beton yang memiliki nilai guna lebih dibandingkan dengan beton

normal. Pada umumnya panel dinding beton ringan digunakan untuk komponen non-struktural yang tidak menahan beban. Akan tetapi seiring dengan perkembangan teknologi, kebutuhan akan dinding yang pemasangannya cepat, murah dan ringan semakin meningkat, maka panel dinding beton ringan akan digunakan menjadi dinding pemikul beban (*bearing wall*). Penggunaan panel beton ringan untuk komponen struktur harus memenuhi persyaratan kekuatan material struktur. Pertimbangan dalam penggunaan beton ringan untuk komponen struktur adalah membuat struktur menjadi lebih ringan, sehingga beban yang diteruskan ke fondasi akan lebih ringan pula. Hal ini akan mengurangi resiko kerusakan apabila terjadi gempa.

Siswosukarto, dkk (2017) meneliti tentang pemanfaatan limbah *polystyrene* sebagai material panel dinding. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan panel *polystyrene* dengan kebutuhan semen 250 kg/m<sup>3</sup> dan 300 kg/m<sup>3</sup> yaitu sebesar 0,63 MPa dan 0,83 MPa. Hasil kuat tekan yang rendah menyebabkan dinding panel tersebut tidak dapat digunakan sebagai dinding struktural.

Wicaksono (2015) melakukan penelitian tentang panel dinding beton *polystyrene* dengan penambahan serat ijuk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggantian beton *polystyrene* memberikan pengaruh terhadap kuat tekan beton *polystyrene*. Hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian beton *polystyrene* mempunyai kuat tekan tertinggi pada proses penggantian 2 MPa dan kandungan serat ijuk sebesar 1%.

## Material Pembentuk Panel Dinding

### 1. Beton Ringan

Dalam Tjokrodinuljo (2007), beton ringan adalah beton yang mempunyai berat jenis beton antara 1000-2000 kg/m<sup>3</sup>. Panel dinding beton ringan mempunyai berat jenis sekitar 1000 sampai 2000 kg/m<sup>3</sup>.

### 2. Beton Serat

Beton serat (*fibre concrete*) adalah bahan komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Pada umumnya serat yang digunakan berupa batangan dengan diameter antara 5 sampai 500 µm (mikro meter) dan panjang sekitar 25 sampai 100 µm (Tjokrodinuljo, 2007).

### 3. Panel Dinding

Panel dinding adalah bahan lembaran konstruksi yang apabila disusun dengan suatu pengikat atau rangka dapat membentuk sebuah dinding. Panel dinding dapat berfungsi sebagai komponen struktural atau non struktural dan dapat berbentuk lembaran kecil atau besar (Olivia, dkk, 2008).

### 4. Sandwich Panels

Dalam Xia, dkk (2018) panel dinding *sandwich* sebagai komponen penahan beban telah secara luas diadopsi dalam teknik sipil karena keunggulannya memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang besar, kemampuan anti korosi yang sangat baik dan properti isolasi termal. Panel dinding *sandwich* terdiri dari dua lapisan permukaan plastik tipis yang diperkuat serat dan lapisan inti berbahan ringan, misalnya busa *polystyrene*. Panel *sandwich* dapat dibuat untuk mendapatkan kekuatan yang tinggi.

### 5. Expanded polystyrene (EPS)

*Expanded polystyrene* dibuat dari butiran plastik yang disebut *polystyrene*. *Expanded polystyrene* diresapi dengan banyak gelembung gas kecil. Ketika butiran dipanaskan, plastik melunak dan gas mengembang (Vanderwerf dkk, 2006).

Butiran EPS dapat digunakan sebagai agregat ringan dalam bidang konstruksi. Butiran ini dapat ditambahkan ke dalam campuran baik sebagian atau seluruhnya menggantikan agregat tergantung pada kekuatan dan sifat yang dibutuhkan (Ede, 2014).

## 6. Lembaran Rata Kalsium Silikat

Dalam SNI 7705:2011, lembaran rata kalsium silikat merupakan bahan bangunan yang dibuat terutama dari bahan pasir silika, semen portland, selulosa, air dengan atau tanpa bahan tambahan bila diperlukan, yang dibentuk menjadi lembaran rata melalui reaksi kimiawi yang terjadi pada suhu dan tekanan tertentu (otoklaf/*autoclave*) antara unsur silika dan kalsium. Salah satu merk dagang papan kalsium silikat yang sering digunakan adalah *GRC board* dan kalsiboard.

## 7. Perekat epoxy

*Sikadur-31* CF Normal adalah dua komponen mortar bebas *solvent*, tahan kelembaban, dan bersifat *thixotropic*, hasil kombinasi *epoxy* resin dan bahan pengisi celah kusus, untuk digunakan sebagai perekat dan perbaikan struktural beton dengan temperatur +10°C sampai +30°C ([www.idn.sika.com](http://www.idn.sika.com)).

## 8. Kuat tekan

Beton memiliki sifat getas, kuat tekannya tinggi namun kuat tariknya rendah. Kuat tekan beton ringan lebih rendah bila dibandingkan dengan beton normal dengan proporsi campuran yang sama. Tetapi dengan menggunakan kadar semen yang tinggi dan agregat ringan berukuran kecil yang berkualitas baik memungkinkan untuk memperoleh kekuatan dalam kisaran 3000 hingga 5000 psi atau 20,7 hingga 34,5 MPa (Vanderwerf, dkk, 2006).

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi eksperimental dengan percobaan langsung di laboratorium. Benda uji berupa panel dinding pracetak *expanded polystyrene* yang divariasikan dengan lapis luar GRC dan *connector* baut. Pengujian kuat tekan vertikal panel dinding mengacu pada SNI 03-3122-1992 (Panel Beton Ringan Berserat). Pengujian dilakukan setelah beton berumur 28 hari.

## 1. Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Sumber bahan penelitian

| Bahan                  | Sumber                      |
|------------------------|-----------------------------|
| Panel dinding pracetak | PT Jakarta Duta Wahana      |
| Papan GRC              | <i>GRC Board</i>            |
| Perekat <i>epoxy</i>   | <i>Sikadur-31</i> CF Normal |
| Baut                   | PT Mega Waja Corporindo     |

Papan GRC yang digunakan memiliki ketebalan 4 mm dengan ukuran panjang dan lebar menyesuaikan panel dinding yaitu 1800x610mm. Baut sebagai penyambung geser berdiameter 1 cm dengan panjang 10 cm.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian antarlain:

- a. Peralatan pembuatan benda uji
  - 1) Mistar, spidol, pensil, *cutter*
  - 2) Alat bor
  - 3) Skrap, cat, dan kuas
- b. Peralatan pengujian kuat tekan panel
  - 1) *Loading frame*, monitor & *data logger*
  - 2) *Hydraulic jack*, *compressor*, *load cell*
  - 3) *Linier variable different trans* (LVDT)
  - 4) Bak pasir, *waterpass*, dan timbangan.

## 2. Benda Uji

Benda uji sebanyak 9 buah panel dinding beton ringan EPS. Variasi dan dimensi benda uji dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Variasi dan dimensi benda uji

| Kode | Dimensi (mm) |       |       | Jumlah |
|------|--------------|-------|-------|--------|
|      | Panjang      | Lebar | Tebal |        |
| PP   | 1800         | 610   | 75    | 3      |
| PGP  | 1800         | 610   | 83    | 3      |
| PGB  | 1800         | 610   | 83    | 3      |

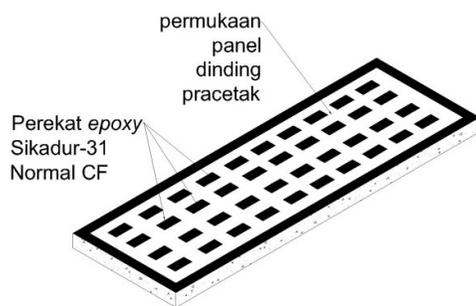
Keterangan,

PP : Panel polos

PGP : Panel polos + GRC

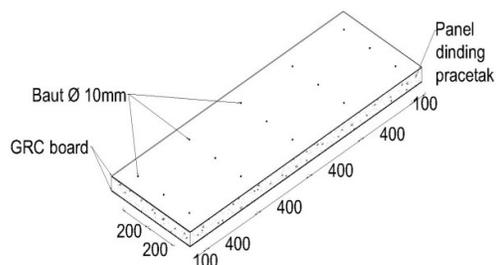
PGB : Panel polos + GRC + Baut

Proses pembuatan benda uji dilakukan dengan menempelkan papan GRC di kedua sisi luar panel pracetak. Pengeleman dilakukan pada sekeliling permukaan dan beberapa titik dibagian tengah. Sketsa pengaplikasian perekat *epoxy* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Sketsa metode pengeleman

Pada benda uji PGB dipasang baut dengan jarak antarbaut 400 mm pada sisi memanjang dan 200 mm pada sisi melebar. Sketsa letak pemasangan baut dapat dilihat pada Gambar 2.

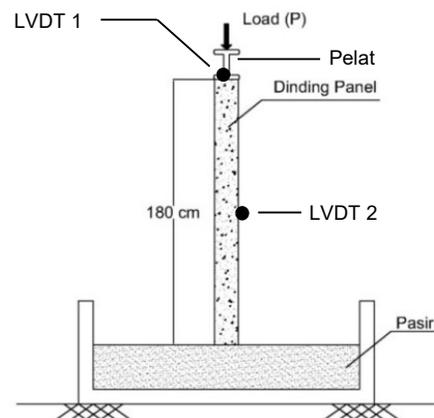


Gambar 2. Sketsa letak pemasangan baut

### 3. Pengujian Kuat Tekan Vertikal

Pengujian kuat tekan vertikal panel dinding dilaksanakan di Laboratorium Struktur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pada pengujian ini, proses pembebanan benda uji

menggunakan plat penekan yang dipasang pada bagian atas benda uji dengan arah sejajar permukaan benda uji sampai benda uji patah. Besarnya beban uji maksimum dicatat sampai saat jarum penunjuk beban tidak naik lagi, kemudian dicatat jenis kerusakannya. Pengujian kuat tekan vertikal mengacu pada ketentuan SNI 03-3122-1992 (Panel Dinding Beton Ringan Berserat) dengan modifikasi. Sketsa pengujian kuat tekan vertikal dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Sketsa pengujian kuat tekan vertikal

Dalam SNI 03-3122-1992 pengujian kuat tekan panel dinding menggunakan tumpuan berupa bantalan yang mempunyai alur dimana benda uji dijepit pada bagian bawah, sedangkan pada pengujian ini digunakan tumpuan berupa bak pasir. Tumpuan bak pasir dimaksudkan untuk menjaga bagian bawah panel dinding agar tidak langsung rusak terkena permukaan lantai yang keras saat dilakukan pembebanan.

LVDT 1 dipasang secara vertikal di sisi atas untuk mengamati penurunan yang terjadi dan LVDT 2 dipasang secara horizontal di sisi samping pada tengah bentang untuk mengamati lendutannya. Setup benda uji tekan vertikal dapat dilihat pada Gambar 4.



(a) Tampak depan (b) Tampak samping

Gambar 4 Setup uji tekan vertikal

#### 4. Metode Analisis

Berdasarkan SNI 03-3122-1992 kuat tekan vertikal panel dinding dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$f_{tk} = \frac{P_{maks}}{A} = \frac{P_{maks}}{b h} \quad (1)$$

dengan,

$f_{tk}$  : hasil pengujian kuat tekan vertikal (N/mm<sup>2</sup>),

$P_{maks}$  : beban maksimum yang bekerja (N),

$A$  : luas penampang bruto (mm<sup>2</sup>),

$b$  : lebar benda uji (mm<sup>2</sup>),

$h$  : tebal benda uji (mm<sup>2</sup>).

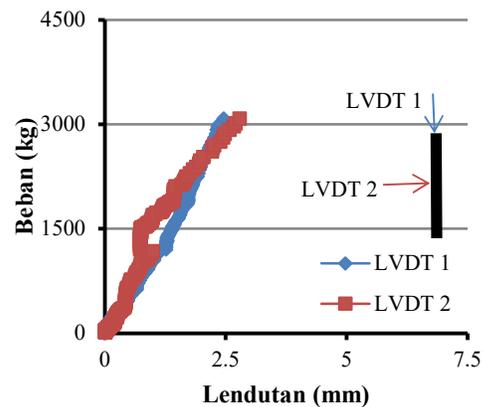
Selanjutnya dalam SNI disebutkan bahwa panel dinding dinyatakan lulus uji kuat tekan vertikal apabila memenuhi syarat mutu A yaitu 2,82 sampai 3,12 MPa atau syarat mutu B yaitu 2,19 sampai 2,51 MPa.

### HASIL UJI TEKAN PANEL

#### Panel Polos (PP-T)

Hubungan beban dan lendutan salah satu benda uji tekan panel polos (PP-T2) ditunjukkan pada Gambar 5. Beban maksimum yang mampu ditahan panel dinding sebelum mengalami patah yaitu 3080 kg. Penurunan yang terjadi sebesar 2,46

mm dan lendutan horizontal pada tengah bentang sebesar 2,79 mm. Setelah mengalami beban maksimum benda uji mengalami keruntuhan. Hal ini berarti panel dinding beton *expanded polystyrene* merupakan material yang lemah (*weak*) dan rapuh (*brittle*), sehingga perlu diberi perkuatan pada kedua sisinya.



Gambar 5. Hubungan beban dan lendutan benda uji tekan PP-T2

Ketiga benda uji mengalami pola kerusakan yang berbeda. Benda uji PP-T1 mengalami retak pada bagian bawah, sedangkan benda uji PP-T2 dan PP-T3 mengalami patah pada bagian atas sebelum akhirnya runtuh. Pola kerusakan benda uji tekan panel polos dapat dilihat pada Gambar 6 sampai Gambar 8.



Gambar 6 Pola kerusakan benda uji tekan PP-T1



Gambar 7 Pola kerusakan benda uji tekan PP-T2

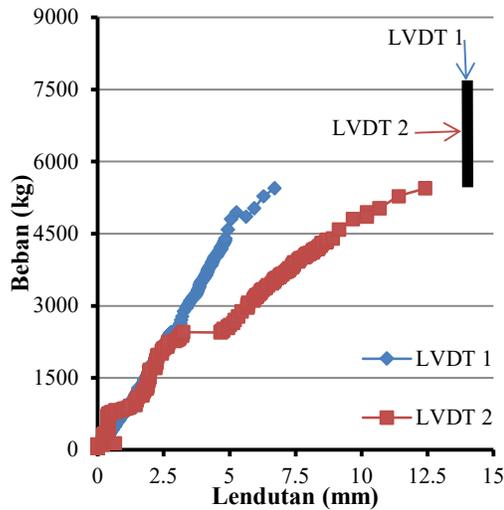


Gambar 8 Pola kerusakan benda uji tekan PP-T3

**Panel dengan Lapis Luar Papan GRC (PGP-T)**

Hubungan beban dan lendutan benda uji tekan panel dinding *expanded polystyrene* dengan lapis luar papan GRC (PGP-T2) ditunjukkan pada Gambar 9. Panel komposit ini mampu menahan beban yang lebih besar bila dibandingkan dengan panel polos.

Beban maksimum yang mampu ditahan panel dinding PGP-T2 sebelum mengalami kerusakan yaitu 5438,2 kg. Penurunan yang terjadi sebesar 6,71 mm dan lendutan horizontal 12,41 mm.



Gambar 9 Hubungan beban dan lendutan benda uji tekan PGP-T2

Ketiga benda uji tekan PGP-T mengalami pola kerusakan yang sama yang ditandai dengan retak pada panel dan papan GRC lalu bagian kulit mulai terlepas dari *core*. Terlepasnya lapisan kulit panel ini disebabkan karena sistem pengeleman panel dan papan GRC hanya menggunakan perekat

*epoxy* saja sehingga kulit panel berpotensi mengalami geser pada saat pembebanan.

Panel dengan lapis luar papan GRC membutuhkan penyambung geser yang dapat mengunci kesatuan panel agar dapat bekerja secara komposit. Pola kerusakan benda uji tekan panel dengan lapis luar papan GRC dapat dilihat pada Gambar 10 sampai Gambar 12.



(a) Retak atas (b) GRC terlepas

Gambar 10 Pola kerusakan benda uji tekan PGP-T1



(a) Retak bawah (b) Retak

Gambar 11 Pola kerusakan benda uji tekan PGP-T2



(a) Miring (b) Depan (c) Retak GRC

Gambar 12 Pola kerusakan benda uji tekan PGP-T3

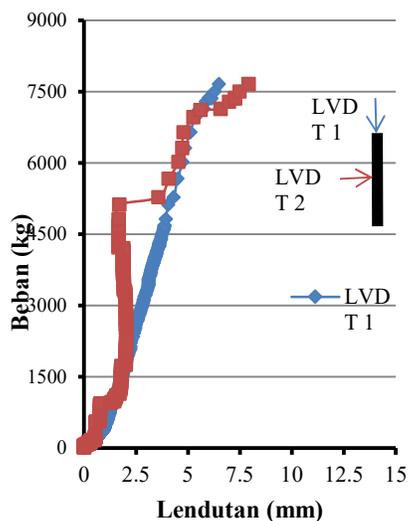
**Panel dengan Lapis Luar Papan GRC dan Connector Baut (PGB-T)**

Hubungan beban dan lendutan benda uji tekan panel dinding *expanded polystyrene* dengan lapis luar papan GRC dan *connector* baut (PGB-T2) ditunjukkan pada Gambar 13.

Panel komposit ini mampu menahan beban paling besar bila dibandingkan dengan variasi lainnya.

Beban maksimum yang mampu ditahan panel dinding PGB-T2 sebelum mengalami patah yaitu 7659,7 kg. Penurunan yang terjadi sebesar 6,48 mm dan lendutan horizontal 7,92 mm. Lendutan yang terjadi tidak sebesar pada benda uji panel dinding dengan lapis luar GRC saja. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penggunaan baut sebagai *connector* menjadikan panel lebih kuat (*strong*) dan keras (*hard*).

Pada saat pembebanan, benda uji mengalami kerusakan berupa serat yang terputus, panel komposit yang pecah, dan *debonding* antarlapisan. Terlepasnya ikatan papan GRC dengan panel EPS pada beberapa titik tertentu menyebabkan papan GRC melengkung (terdapat celah) dan jarum LVDT ikut bergerak secara tiba-tiba. Hal ini menyebabkan pembacaan lendutan menjadi tidak linier akibat pergerakan mendadak tersebut.



Gambar 13 Hubungan beban dan lendutan benda uji tekan PGB-T2

Ketiga benda uji PGB-T memiliki pola kerusakan yang sama, yaitu mengalami retak maupun patah pada bagian bawah diikuti

dengan terlepasnya papan GRC. Dengan adanya *connector* baut, panel menjadi lebih komposit dan mampu menahan beban yang lebih besar. Pola kerusakan benda uji tekan panel dengan lapis luar papan GRC dan *connector* baut dapat dilihat pada Gambar 14 sampai Gambar 16.



(a) Retak bawah (b) GRC lepas (c) Tegak

Gambar 14 Pola kerusakan benda uji tekan PGB-T1



(a) GRC pecah (b) Patah (c) Baut utuh

Gambar 15 Pola kerusakan benda uji tekan PGB-T2



(a) Tegak (b) GRC terlepas (c) Depan

Gambar 16 Pola kerusakan benda uji tekan PGB-T3

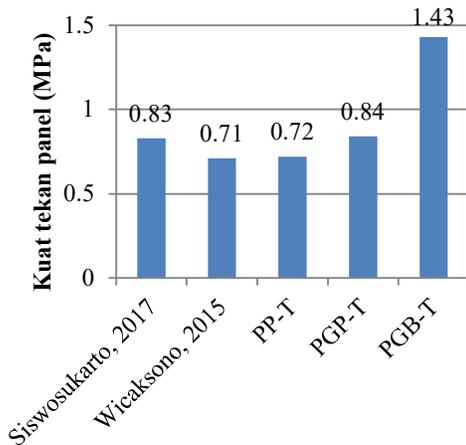
Dari hasil pembacaan beban dan pengukuran dimensi benda uji dapat dilakukan perhitungan kekuatan tekan vertikal dengan

menggunakan Persamaan 1. Hasil kuat tekan panel dinding dapat dilihat pada Tabel 3.

Hasil perhitungan nilai kuat tekan ketiga variasi panel dinding *expanded polystyrene* tidak memenuhi persyaratan SNI 03-3122-1992 dan tidak dapat digunakan sebagai dinding struktural. Namun, dari pengujian ini diketahui bahwa penambahan lapis luar GRC dan *connector* baut dapat meningkatkan nilai kuat tekan vertikal panel dinding *expanded polystyrene* hingga 200%.

Tabel 3. Hasil uji kuat tekan vertikal

| Benda Uji | Beban (kg) | Kuat Tekan (MPa) | Rata-rata (MPa) |
|-----------|------------|------------------|-----------------|
| PP-T1     | 3525       | 0,7610           | 0,72            |
| PP-T2     | 3080       | 0,6783           |                 |
| PP-T3     | 3297       | 0,7258           |                 |
| PGP-T1    | 4659,3     | 0,9074           | 0,84            |
| PGP-T2    | 5438,2     | 1,0583           |                 |
| PGP-T3    | 2904,2     | 0,5673           |                 |
| PGB-T1    | 6707,6     | 1,3043           |                 |



Gambar 17 Perbandingan kuat tekan panel dinding EPS dengan penelitian sebelumnya

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian panel dinding beton ringan *expanded polystyrene* dengan lapis

|        |        |        |      |
|--------|--------|--------|------|
| PGB-T2 | 8010,7 | 1,4887 | 1,43 |
| PGB-T3 | 7717,4 | 1,4999 |      |

Gambar 17 menunjukkan perbandingan kuat tekan panel dinding EPS dengan panel dinding *polystyrene* pada penelitian sebelumnya. Panel dinding EPS memiliki nilai kuat tekan paling tinggi daripada penelitian sebelumnya. Hal ini dikarenakan produksi panel dinding beton ringan EPS dilakukan oleh pabrik secara pracetak sehingga mutu dan kuat tekan beton lebih terkontrol. Semakin tinggi kandungan semen dalam satu proporsi campuran maka kuat tekan beton akan semakin tinggi. Pada penelitian Wicaksono (2015) kuat tekan tertinggi diperoleh pada panel dinding dengan kebutuhan semen  $250 \text{ kg/m}^3$ , sedangkan penelitian Siswosukarto (2017) kuat tekan tertinggi diperoleh pada panel dinding dengan kebutuhan semen  $300 \text{ kg/m}^3$ .

luar papan kalsium silikat yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Pengujian kuat tekan vertikal panel dinding beton ringan *expanded polystyrene* dengan variasi panel dinding tanpa perkuatan (PP-T) sebesar 0,72 MPa, variasi panel dinding dengan lapis luar papan GRC (PGP-T) sebesar 0,84 MPa, dan variasi panel dinding dengan lapis luar papan GRC dan *connector* baut (PGB-T) sebesar 1,43 MPa.
2. Panel dinding bersifat getas. Pola kerusakan benda uji ditandai dengan terlepasnya lapisan luar papan GRC dan panel dinding mengalami retak maupun patah.
3. Dari pengujian ini diketahui bahwa penambahan lapis luar GRC dan *connector* baut dapat meningkatkan nilai

- kuat tekan vertikal panel dinding *expanded polystyrene* hingga 200%.
4. Ketiga variasi tidak memenuhi syarat kuat tekan vertikal SNI 03-3122-1992, baik mutu A maupun mutu B sehingga panel dinding tidak dapat digunakan sebagai dinding struktural.
  5. Penambahan lapisan luar pada panel beton *expanded polystyrene* sebaiknya mempertimbangkan penggunaan lapisan luar yang lebih tebal agar *sandwich panel* lebih kuat.
  6. Metode mengelem/merekatkan yang baik dan konsisten akan mencegah terlepasnya lapisan kulit *sandwich panel* pada saat pembebanan sehingga panel menjadi lebih komposit.
- DAFTAR PUSTAKA**
- Badan Standarisasi Nasional. (1992). Panel Beton Ringan Berserat, SNI 03-3122-1992, Bandung.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). Lembaran Rata Kalsium Silikat, SNI 7705:2011, Bandung.
- Ede, A.N. and AbimbolaOgurdiran. (2014). *Thermal Behaviour and Admissible Compressive Strength of Expanded Polystyrene Wall Panels of Varying Thickness*. Current Trends in Thechology and Science, ISSN: 2279-0535, Volume 3, Issue 2.
- Olivia, D., Wonohardjo, S., Tedja, S., dan Edward, B., (2008). Kajian Aspek Kecepaan dalam Teknologi Membangun Gedung di Indonesia, Seminar Nasional Perumahan Rakyat: Strategi Percepatan Pembangunan Perumahan Berbasis Kearifan Lokal. 17 Desember 2008, Universitas Bina Nusantara.
- Siswosukarto, S., Saputra, A., Kafraim, I.G.Y. (2017). *Utilization of polystyrene waste for wall panel to produce green construction materials*. Procedia Engineering 171 (2017) 664-671.
- Tjokrodimuljo, K. (2007). Teknologi Beton, Biro Penerbit, Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Vanderwerf, P.A, Panushev I.S. and Kokonowski, D. (2006). *Concrete Systems for Homes and Low-Rise Construction*, McGraw-Hill.
- Wicaksono, K.D. (2014). Penggunaan Serat Ijuk pada Pembuatan Panel Dinding Beton *Polystyrene* dengan Metode Pengempaan Terukur, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- [www.idn.sika.com](http://www.idn.sika.com) diakses pada 3 Mei 2019, pukul 01:09 WIB.
- Xia, Y., et al. (2018). *Impact and Post-Impact Performance of Sandwich Wall Boards with GFRP Face Sheet and a Web-Foam Core: The Effects of Impact Location*. Materials 2018, 11, 1714