

# STUDI EKSPERIMEN BALOK SANDWICH GLASS FIBER REINFORCEMENT PANEL – FOAM (GFRP – FOAM) PADA RUMAH SEDERHANA DUA LANTAI.

Dwi Mide Febriyan, Faimun, Priyo Suprobo

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: [faimun@ce.its.ac.id](mailto:faimun@ce.its.ac.id), [priyo@ce.its.ac.id](mailto:priyo@ce.its.ac.id)

**Abstrak**— Gempa Sumatera Barat (2009) dan Mentawai (2010) telah menewaskan lebih dari 400 jiwa dan menyebabkan sedikitnya 88.000 kerusakan berat pada bangunan-bangunan yang ada. Diketahui bahwa kerusakan tersebut diakibatkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah akibat dari berat struktur bangunan yang konvensional. *Preliminary design* menggunakan metode grafis dari H. G. Allen cukup akurat untuk mendapatkan dimensi panel komposit balok sandwich GFRP-Foam dengan beban rencana yang ditentukan. Program bantu elemen hingga menghasilkan analisa tegangan yang terjadi pada model panel balok sandwich yang kemudian dikontrol menggunakan metode *Allowable Stress Design*. Beberapa pengujian terhadap model dari panel balok sandwich seperti pengujian lendutan, tegangan, regangan, serta momen kurvatur menggunakan *Four Point Bending* telah dilakukan untuk mendapatkan perilaku mekanis balok terhadap beban gravitasi. Pengujian menunjukkan bahwa balok berperilaku elastis hingga beban 500 kg dan keruntuhan terjadi ketika beban mencapai 800 kg. Kegagalan balok panel terjadi pada daerah tekan yang ditandai dengan keretakan pada lapisan skin atas. Hasil pengujian tersebut mengarah pada kesimpulan bahwa panel balok *sandwich glass fiber reinforcement panel - foam* dengan 4 lapis *fiberglass combo mat* untuk masing – masing skin dan dengan dimensi balok 140 mm x 240 mm dengan bentang 3 meter memadai untuk menahan beban rencana dari rumah sederhana 2 lantai.

**Kata Kunci**— panel komposit, panel *sandwich*, GFRP-foam, balok *sandwich*.

## I. PENDAHULUAN

SECARA geografis Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada pertemuan empat lempeng tektonik yaitu lempeng Benua Asia, Benua Australia, lempeng Samudera Hindia dan Samudera Pasifik. Kondisi itu sangat berpotensi sekaligus rawan bencana seperti gempa bumi, tsunami, banjir, gunung meletus dan tanah longsor, yang mengakibatkan kerusakan pada bangunan terutama justru pada rumah biasa. Korban tewas terbanyak adalah mereka yang tertimpa reruntuhan rumah – rumah sederhana<sup>[1]</sup>.

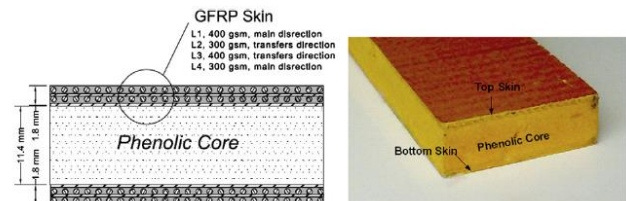


Gambar 1. Kehancuran rumah sederhana pasca gempa Bengkulu (2007) (sumber : Build Change, 2007)

Selain menghancurkan bangunan, gempa bumi juga berhasil memutus jalur transportasi darat. Kondisi jalan inilah yang juga menjadi penyebab lambatnya pembangunan pemukiman

akibat truk pembawa material tertahan. Maka dari itu jalur udara merupakan satu-satunya akses dalam rangka pemberian bantuan, termasuk dalam hal pengangkutan material bangunan tak terkecuali material dinding yang memiliki volume paling besar dibandingkan dengan bagian lain dalam struktur rumah. Dengan keterbatasan tersebut, membangun sebuah rumah dalam keadaan darurat memerlukan waktu pengangkutan material yang lama, kecuali mengganti struktur rumah tersebut dengan material yang lebih ringan.

Mengganti balok beton konvensional dengan panel *sandwich* dan membuatnya menjadi komponen yang lebih ringan merupakan salah satu solusi. Penggunaan panel *sandwich* dalam konstruksi struktur bangunan menawarkan banyak keuntungan karena beberapa alasan seperti beratnya yang ringan dan biaya yang efektif. Penggunaannya dapat ditemukan di banyak negara, seperti Amerika Serikat, negara-negara EAME, Jepang, China, dan Taiwan.



Gambar 2. GFRP Sandwich Panel and Skin Plies Configuration (sumber : Ziad K. Awad, Thiru Aravinthan, Yan Zhuge 2012)

Di Indonesia, penggunaan struktur *sandwich* belum diterapkan dalam dunia konstruksi, karena belum adanya metode desain yang sesuai dengan keadaan di Indonesia. Maka untuk dapat mendesain panel *sandwich*, perlu dilakukan penelitian terlebih dahulu mengenai perilaku-perilaku bahan-bahan penyusun panel kemudian batasan-batasan desain perlu diadopsi dari peraturan-peraturan yang ada yang mengatur bahan-bahan penyusunnya secara tunggal dan terpisah.

Berbagai penelitian tentang panel *sandwich* dilakukan oleh beberapa peneliti seperti Ziad K. Awad, Thiru Aravinthan, Yan Zhuge (2012) tentang Analisa Numerik Lantai *Sandwich* GFRP dengan Beban Terpusat, Shiqiang Li, Xin Li, Zhihua Wang, Guiying Wuc, Guoxing Lu, Longmao Zhao (2015) tentang Analisa Elemen Hingga *Sandwich* Panel dan masih banyak lagi. Penelitian untuk struktur yang berbeda tentu akan memberikan hasil yang berbeda pula. Oleh karena itu pemilihan model yang tepat untuk dapat menghasilkan kombinasi yang kuat dan ringan sangat diperlukan.

Pada penelitian ini, permasalahan utama yang hendak diselesaikan yaitu perencanaan struktur balok *sandwich* pada rumah instan sederhana 2 lantai dengan menggunakan *Glass Fiber Reinforced Panel – Foam*. Tujuan penelitian ini yaitu;

- a. Menemukan metode dan cara pemodelan balok sandwich GRFP-Foam pada rumah instan sederhana 2 lantai,
- b. Mengetahui metode pengujian balok sandwich GRFP-Foam pada rumah instan sederhana 2 lantai,
- c. Mengetahui dimensi skin dan core yang dibutuhkan sebagai struktur penyusun balok sandwich GRFP-Foam pada rumah instan sederhana 2 lantai,
- d. Mengetahui analisa penampang panel balok sandwich GFRP – Foam dengan metode ASD,
- e. Mengetahui tegangan lentur yang terjadi pada panel balok sandwich GFRP – Foam, dan
- f. Mengetahui proses fabrikasi balok sandwich GRFP-Foam pada rumah instan sederhana 2 lantai.

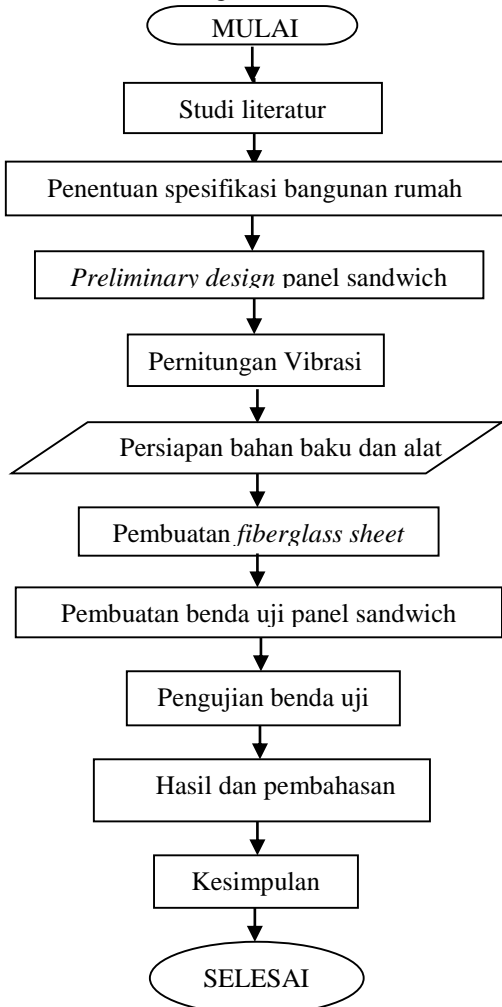
Batasan masalah pada penelitian ini yaitu;

- a. Penelitian ini hanya fokus pada struktur balok
- b. Tipe bangunan didesain dengan bearing wall system
- c. Fiber glass yang digunakan adalah jenis E-Glass, dan
- d. Karakteristik material yang digunakan diambil dari penelitian sebelumnya.

II. METODE PENELITIAN

A. Alur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan untuk mengerjakan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Bagan Alir Metodologi Penyelesaian Tugas Akhir

B. Material

1) Fiber Glass

Kata fiber berarti tunggal, merujuk pada material memanjang yang memiliki panjang minimal 200 kali lebar atau diameternya<sup>[2]</sup>. Kaca merupakan material yang sebagian besar terdiri dari jaringan silica yang dibagi ke dalam empat klasifikasi; alkali tinggi (A glass), *electrical grade* (E glass), *chemically-resistant modified E glass grade* (ECR glass), dan *high strength grade* (dengan magnesium alumino silikat tanpa boron oksida: S glass)<sup>[3]</sup>. Pada penelitian kali ini digunakan fiber tipe E-Glass (dengan calcium alumino borosilicate dengan alkali oxide rendah) dan resin.



Gambar 4. Material matriks fiberglass (a) Vynil Ester Resin (b) katalis (c) Cobalt

2) Rigid Polyurethane Foam

Spesimen *rigid polyurethane foam* dibuat dengan mencampurkan polyurethane resin (polyol, RF50593/7-25A) dan diisocyanate (RF50593/7-25B), produk dari Asia Polyurethane. Perbandingan campuran 1:1 (brosur Asia polyurethane) dituangkan ke dalam cetakan (*modal*) dan dibiarkan mengeras (*curing*) selama minimal 5 jam sebelum specimen dapat dilepas dari cetakan.<sup>[4]</sup>



Gambar 5. Polyurethane foam

3) Reinforcement Skin

Lapisan kulit pada struktur sandwich biasanya terbuat dari polimer berserat (*fiber-reinforced polymer*, FRP) atau terbuat dari bahan metal seperti baja atau aluminium. Selain itu, lapisan kulit bias juga berupa *asbestos cement*, *glass-reinforced plastics*.



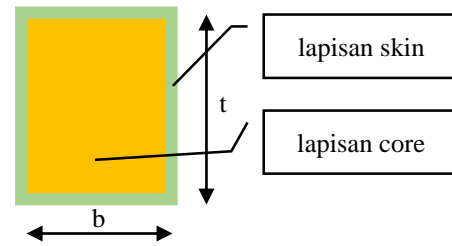
Gambar 6. Combo mat CTG E-Glass sebagai reinforcement skin.

4) Karakteristik Material

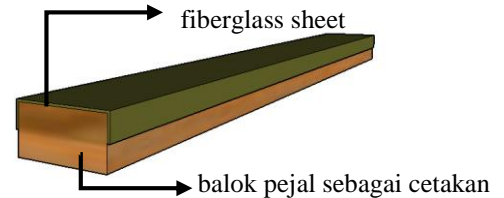
Rekapitulasi hasil pengujian karakteristik material yang dilakukan pada penelitian sebelumnya<sup>[4]</sup> ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1.  
Rekapitulasi hasil pengujian

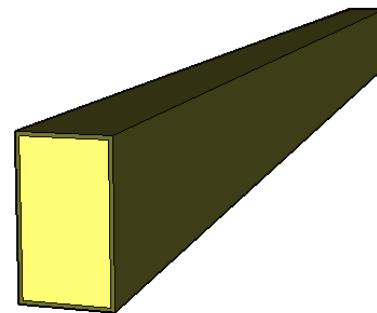
	Parameter	Nilai	Satuan
Fiber glass	Kerapatan	1500	Kg/m <sup>3</sup>
	Kuat tarik	216	MPa
	Modulus tarik	6389	MPa
	Poisson's ratio	0.28	N/A
	Strain to failure	3.3	%
	Kuat tekan	70	MPa
RPU foam	Modulus tekan	1877	MPa
	Kuat geser	3.02	MPa
	Kerapatan	48.5	Kg/m <sup>3</sup>
	Kuat tarik (L)	393	kPa
	Kuat tarik (T)	229	kPa
	Modulus tarik (L)	3256	kPa
	Modulus tarik (T)	929	kPa
	Poisson's ratio	0.184	N/A
	Strain to failure	27.6	%
	Kuat tekan	358.2	kPa
	Modulus tekan	11603	kPa
	Kuat geser	228	kPa
	Modulus geser	3240	kPa



Gambar 8. Tampak melintang benda uji panel balok sandwich



Gambar 9. Model bekisting dari kayu untuk pembuatan panel

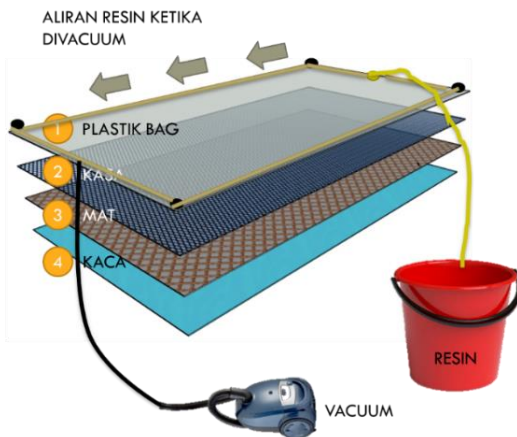


Gambar 10. Model rencana panel balok

C. Pembuatan Benda Uji

1) Pembuatan fiberglass sheet

Fiber glass akan dibuat sendiri di laboratorium beton dan bahan, jurusan teknik sipil, Fakultas teknik sipil dan perencanaan, ITS menggunakan metoda infusian yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 7. Pembuatan fiberglass dengan infusian method

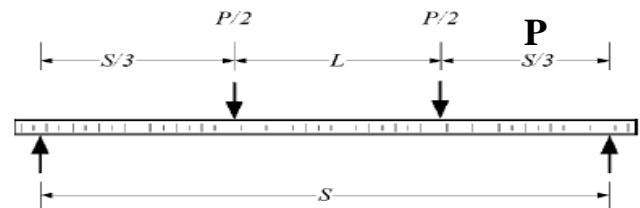
2) Pembuatan benda uji panel sandwich

Benda uji Panel balok yang akan diuji terdiri dari 2 skin fiberglass dan sebuah RPUF core di mana fiberglass akan diproduksi menggunakan metode *vaccum infusian* untuk menjadi fiberglass sheet yang berbentuk 2 profil C, selanjutnya kedua fiberglass sheet digabungkan menjadi sebuah profil hollow tube yang berongga. Kemudian rongga tersebut diisi dengan cairan polyurethane sebagai lapisan core nya.

D. Pengujian Benda Uji

1) Pengujian gravity load

Pengujian benda uji balok sandwich menggunakan beban terpusat dengan metode *Four-Point Bending* sesuai dengan ASTM D7250 *Standard Practice for Determining Sandwich Beam Flexural and Shear Stiffness*. Dua buah strain gauge di pasang pada bagian skin atas balok dan skin bawah balok untuk mengukur regangan yang terjadi, serta LVDT diletakkan pada tengah bentang untuk mengukur defleksi yang terjadi. Pembacaan regangan dan beban dilakukan setiap 50 kg hingga balok benar – benar collapse atau runtuh.



Gambar 11. Ilustrasi pengujian balok sandwich dengan beban terpusat

2) Pengujian konduktivitas thermal

Pengujian konduktivitas thermal mengacu pada peraturan ASTM E1225 – 13 *Standard Test Method for Thermal Conductivity of Solids Using the Guarded-Comparative-Longitudinal Heat Flow Technique*. Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mengetahui peristiwa perpindahan panas secara konduksi dari material GFRP dan PU foam sebagai material penyusun panel sandwich.

III. ANALISA HASIL EKSPERIMENTAL

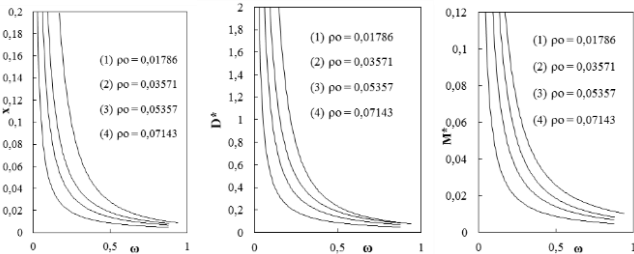
A. Perencanaan Struktur Sandwich

Pada langkah preliminary desain ini dimasukkan beberapa data *mechanical properties* dari bahan baku penyusun panel yaitu fiber dan foam. Dimensi awal panel dihitung menggunakan metode grafis yang mengacu pada teori H. G. Allen dalam *Analysis and Design of Structural Sandwich Panels*. H. G. Allen mendiskripsikan sebuah kekakuan non dimensional ( $D^*$ ) dan momen lentur non-dimensional ( $M^*$ ) dan juga pebandingan tebal skin terhadap core ( $x$ ) yang masing – masing berhubungan dengan rasio berat core terhadap berat total panel sandwich ( $\omega$ ). Setelah dimensi balok diperoleh kemudian di kontrol menggunakan teori ASD (*Allowable Stress Desain*).

$$D^* = \frac{WL^3}{4E_s bt_c^3 \delta}$$

$$M^* = \frac{6M}{\sigma_s bt_c^2}$$

$$\frac{\Omega \times \sigma_{batas}}{SF} \leq \sigma_{ijinterkolerasi} \tag{3.1}$$



Gambar 12. Grafik hubungan rasio berat core/berat total  $\omega$  terhadap (dari kiri) nilai rasio ketebalan core/skin  $x$ , kekakuan lentur non-dimensional  $D^*$ , dan kekakuan lentur non-dimensional momen  $M^*$ .

Pembuatan benda uji mengacu pada perhitungan preliminary desain dengan perbandingan 1 : 2.

Tabel 2. Rekapitulasi desain balok sandwich

Tipe balok	dimensi aktual (mm)					dimensi benda uji (mm)				
	b	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	l	b	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	l
balok lantai 2	140	3,6	232,8	3,6	3000	70	1,8	116,4	1,8	1500
balok lantai 1	140	3,6	232,8	3,6	3000	70	1,8	116,4	1,8	1500

B. Perhitungan Vibrasi

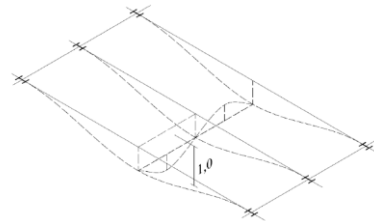
Struktur sandwich memiliki berat yang ringan sehingga diperlukan perhitungan vibrasi yang mengacu pada *Design of Floor Structures for Human Induced Vibrations* (Feldmann dkk, 2009). Vibrasi struktur dianalisa sebagai berikut:

1) Eigen frequency

Eigenfrequency pertama dihitung atas dasar pendekatan *modal mass*.

$$\delta_{total} = \delta_{plate} + \delta_{beam} = 4,488 \times 10^{-5} + 0,924 = 0.924 \text{ mm}$$

$$M_{mod} = M_{total} \times \left[ \frac{\delta_x^2 + \delta_y^2}{2\delta^2} + \frac{8}{\pi^2} \frac{\delta_x \cdot \delta_y}{\delta^2} \right] = 148,2 \text{ kg}$$



Gambar 13. Bentuk model eigen frequency pertama.

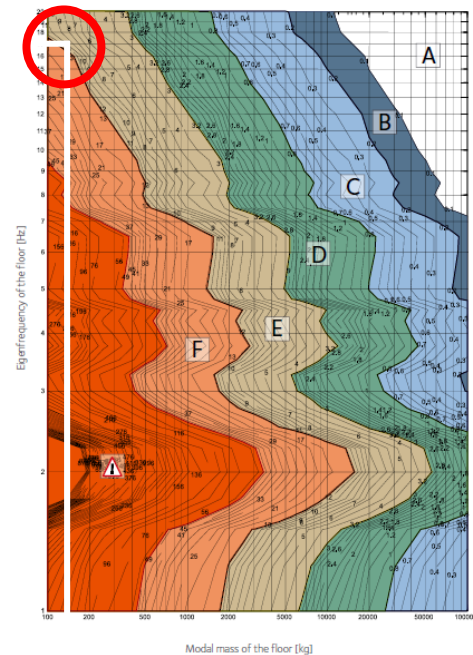
2) Redaman

Rasio redaman dari pelat *Glass Fiber-Foam* untuk struktur komposit sebesar 1%, fungsi rumah sebesar 1%, dan finishing false floor sebesar 1%, sehingga:

$$\text{Total Damping } D = D_1 + D_2 + D_3 = +1\% + 1\% + 1\% = 3\%.$$

3) Penilaian

Berdasarkan sifat model yang dihitung di atas, lantai diklasifikasikan sebagai kelas C (Gambar 14).



Gambar 14. OS-RMS<sub>90</sub> untuk redaman 3%

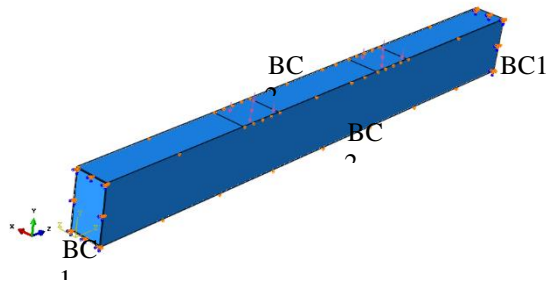
Class	OS-RMS <sub>90</sub>		Function of Floor									
	Lower Limit	Upper Limit	Critical Workspace	Health	Education	Residential	Office	Meeting	Retail	Hotel	Industrial	Sport
A	0.0	0.1										
B	0.1	0.2										
C	0.2	0.8										
D	0.8	3.2										
E	3.2	12.8										
F	12.8	51.2										

Gambar 15. Rekomendasi untuk Peryaratan Kinerja

Dari grafik OS-RMS<sub>90</sub> di dapatkan struktur berada pada kelas E dengan eigenfrequency sebesar 18,7 Hz. Pada gambar 15 menunjukkan bahwa kelas E diklasifikasikan dapat digunakan untuk rumah hunian, namun dalam kondisi rawan.

C. Analisa Elemen Hingga

Panel dimodelkan ke dalam program bantu elemen hingga ABAQUS, dengan mekanisme permodelan mengambil dimensi model panel balok yang berskala 1:2 yaitu 70 mm x 120 mm x 1500 mm, *deformable solid extraction*, tebal GFRP = 2 mm, tebal foam = 66 mm, tebal total = 70 mm, BC1: U1,U2,UR2,UR3 = 0, BC2: U1 = 0. Input karakteristik mekanis material ditunjukkan pada tabel 3.



Gambar 16. Permodelan panel balok pada Abaqus  
Tabel 3.

Input data pada abaqus

Material properties	GFRP	RPU foam	Sat
D1111=D2222=D3333	8167,756	3,55	MPa
D1122=D1133=D2233	3176,349	0,8	MPa
D1212=D1313=D2323	2500	3,24	MPa

$$\Delta_2 = \frac{L_2}{325} = \frac{1500}{325} = 4,6\text{mm}$$

$$P_2 = \frac{4,6 \times 24 \times 6389 \times 1,5 \times 10^6}{(3 \times 1500^2 - 4 \times 500^2) 500} = 370 \text{ N}$$

Dari analisa didapatkan hasil bahwa tegangan – tegangan di dalam panel masih lebih rendah dari tegangan – tegangan ijin material-material panel sehingga dengan dimensi tersebut, panel dinyatakan kuat terhadap beban gravitasi.

Tabel 4.

Hasil analisa Abaqus

Hasil analisa	
<b>Tegangan</b>	
<b>Ket</b>	Tegangan maksimum yang menentukan adalah S33 skin = 5,84 MPa < tegangan ijin = 30.33 MPa. (OK)
<b>Lendutan</b>	
<b>Ket</b>	Lendutan maksimum = 2.48715 mm

Tabel 5.  
Kontrol tegangan panel terhadap beban gravitasi

Jenis	Tegangan	SF	Tegangan Ijin (MPa)			Ket
			Teg. Batas (MPa)	Teg. Ijin Kolerasi (MPa)	Teg. Aktual (MPa)	
GFRP	Tens.	S33	2	216	108	5.8401 OK
	Comp	S33	2	70	35	5,8132 OK
	Shear	S13	2	3,02	1,51	0,3418 OK
Foam	Tens.	S33	2	0,393	0,197	0,0026 OK
	Comp	S33	2	0,358	0,179	0,0026 OK
	Shear	S13	2	0,228	0,114	0,0004 OK

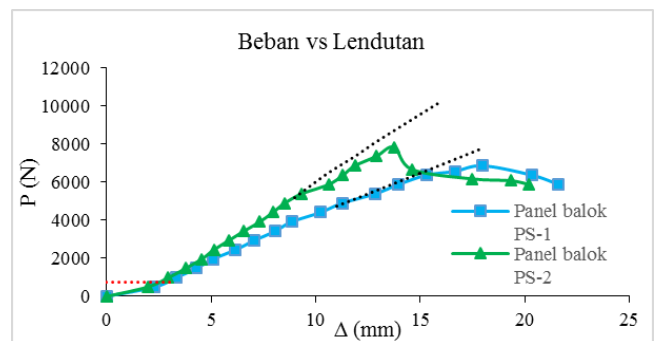
D. Analisa Pengujian Gravity Load

Pengujian menggunakan metode *Four Point Bending (FPB)* sesuai dengan ASTM D7250. Ukuran panel benda uji adalah 70 mm x 120 mm x 1500 mm dengan faktor skala 1:2.



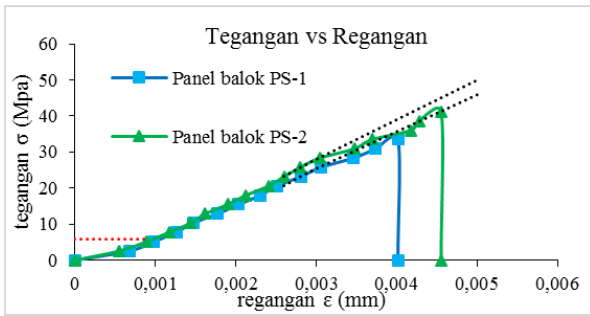
Gambar 17. Pembuatan benda uji (kiri) dan pengujian *gravity load* (kanan) balok sandwich.

Dari pengujian, diketahui bahwa kegagalan panel terjadi pada daerah ujung atas panel (tekan). Panel mengubah beban aksial menjadi momen sekunder, menyebabkan salah satu skin dalam keadaan tekan sementara skin yang lain dalam keadaan tarik. Skin tidak bisa menahan beban kompresi lagi pada saat P = 500 kg yang diindikasikan dengan adanya *crack* dan tekukan kecil pada lokasi tertentu. Fenomena tekuk ini berkembang hingga skin bagian atas benar – benar patah dari lapisan inti ketika P = 700 kg.



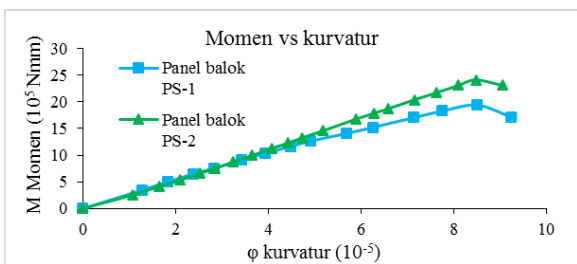
Gambar 18. Grafik hubungan beban dengan lendutan

Pada Gambar 4.19 terlihat bahwa Panel balok masih mampu menahan beban rencana sebesar (2 x 370) 740 N berperilaku elastis hingga beban mencapai 5000 N, dimana hubungan beban (P) dengan lendutan masih linear. Diatas beban 5000 N grafik lendutan mulai turun, dimana telah terjadi kegagalan pada struktur panel balok sandwich yang ditandai dengan retaknya lapisan skin bagian atas panel balok. Sehingga dapat diketahui P ultimate rata - rata yang mampu ditahan balok hingga balok mengalami *collapse* sebesar 7000 N, atau berkisar 700 kg.



Gambar 19. Grafik hubungan tegangan-regangan.

Tegangan rencana sebesar 5,84 MPa dan balok masih dalam kondisi elastis dengan grafik tegangan – regangan yang linear. Pada tegangan 26 MPa, balok berperilaku daktail hingga regangan sebesar 0,0035, namun kondisi ini sangat singkat sehingga dapat dikatakan balok sandwich memiliki struktur yang getas. Pada tegangan 35 MPa balok mengalami keruntuhan.



Gambar 20. Grafik hubungan tegangan-regangan.

Grafik hubungan momen kurvatur pada panel balok sandwich menunjukkan bahwa lapisan skin pada balok sandwich berlaku sebagai tulangan yang dipasang sepanjang lebar balok. Berbeda dengan perilaku balok beton bertulang, tulangan pada panel balok sandwich mengalami kegagalan (putus) satu per satu sehingga grafik kurvatur yang ditunjukkan memiliki perubahan jari – jari kelengkungan yang relatif lebih kecil setiap penambahan beban pada balok.

Hasil pengujian baik tegangan, lendutan, maupun momen kurvatur pada benda uji panel balok sandwich memiliki kemiripan dengan hasil analisa *Finite Element* menggunakan Abaqus. Rata – rata nilai Modulus elastisitas dari pengujian benda uji yaitu sebesar 7276 MPa, lebih tinggi dari *material properties* pada Abaqus. Penelitian sebelumnya menunjukkan GFRP memiliki variasi Modulus Elastisitas antara 4000 – 8000 MPa, sehingga nilai hasil eksperimen masih dapat diterima.

*E. Analisa Pengujian Konduktivitas Thermal*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku perpindahan panas secara konduksi, parameter-parameter yang mempengaruhinya, serta kelayakan panel sandwich sebagai bahan bangunan.



Gambar 21. Benda uji (kiri) dan pengujian konduktivitas thermal (kanan) balok sandwich.

Tabel 5.  
Rekapitulasi perhitungan konduktivitas thermal

Benda Uji	GFRP			PU Foam		
	S-1	S-2	S-3	C-1	C-1	C-1
Konduktivitas thermal	1,411	1,585	1,206	0,018	0,002	0,033
Rata - rata	1,4011			0,0232		

IV. KESIMPULAN

Dari analisa hasil penelitian tersebut, dapat ditarik kesimpulan dari penelitian ini yaitu:

1. Preliminary desain balok sandwich GFRP – Foam menggunakan teori grafis didapatkan dimensi tinggi total balok untuk semua lantai yaitu 240 mm dengan ketebalan lapisan skin 3,6 mm dan ketebalan lapisan core 232,8 mm dengan bentang 3 m.
2. Panel balok sandwich dimodelkan dalam kondisi elastis menggunakan program bantu elemen hingga dengan mode *orthotropic material*.
3. Analisa ASD dari panel balok sandwich menunjukkan bahwa tegangan – tegangan yang terjadi masih dibawah tegangan batas yang diijinkan dengan *safety factor 2*.
4. Pengujian balok sandwich menggunakan metode *Four Point Bending* menunjukkan perilaku panel balok sandwich sebagai struktur yang getas.
5. Proses pabrikasi panel balok sandwich menggunakan metode *hand lay-up* untuk mendapatkan lapisan skin-nya, sedangkan pengecoran lapisan core dilakukan setelah menggabungkan dua lapisan skin.
6. Konduktivitas thermal material GFRP sebesar 1,4 W/m.K sedangkan untuk PU-Foam sebesar 0,023 W/m.K yang lebih rendah dari bahan bangunan konvensional sehingga layak digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BNPB. 2009. “Peta Jumlah Kerusakan Fasilitas Umum Akibat Gempa Di Provinsi Sumatera Barat”. 5 Oktober.
- [2] Akovali. 2001. “Handbook of Composite Fabrication”. Rapra Technology Limited. Exester
- [3] Kaynak. 2001. *Constituent Material*. Rapra Technology Limited. Exester UK
- [4] Wiyono, Puput. 2015. “*Studi Eksperimen Panel Sandwich Fiber Glass Foam untuk Dinding Struktural Rumah Tinggal*”. Digital Library ITS