

## PEMODELAN PERILAKU LENTUR PANEL SANDWICH HIBRID *Modelling Flexural Behavior of Hybrid Sandwich Panel*

Jauhar Fajrin\*, Muhammad Muchlis\*, Buan Anshari\*, Miko Eniarti\*, Pathurahman\*

\*Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram  
Jl. Majapahit No 62, Mataram 83125 Indonesia  
Email : [jauhar.fajrin@unram.ac.id](mailto:jauhar.fajrin@unram.ac.id)

Manuscript received: 24 Juli 2025

Accepted: 2 Oktober 2025

### Abstrak

Artikel ini membahas hasil pemodelan perilaku lentur panel sandwich hibrid menggunakan software ABAQUS student Version. Pemodelan dilakukan dalam dua tahapan, membangun model dan menggunakan model untuk melakukan studi parametrik setelah model dinyatakan valid. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa: Pertama, software Abaqus CAE 6.14-1 mampu memodelkan hasil eksperimen di laboratorium dengan sangat akurat. Selisih beban maksimum dan lendutan pada eksperimen dan pemodelan adalah sebesar 3,12% dan 12,42%. Dengan selisih antara model dan aktual eksperimen yang kurang dari 15%, maka model yang dibangun dianggap sudah reliable. Kedua, kemampuan panel sandwich hibrid dalam memikul beban berbanding lurus dengan ketebalan kulit nya. Sementara lendutan yang terjadi juga mempunyai pola yang sama, lendutan bertambah seiring meningkatnya ketebalan kulit. Sepertinya lendutan pada panel sandwich dengan ketebalan kulit yang berbeda lebih dipengaruhi oleh besarnya beban yang dipikul dibandingkan dengan pengaruh ketebalan kulitnya. Ketiga, kemampuan memikul beban berbanding lurus dengan ketebalan intermediate sandwich panel, semakin tebal intermediate layer maka beban yang mampu dipikul semakin bertambah. Namun berbeda dengan pola yang ditemukan pada panel dengan ketebalan kulit yang berbeda, lendutan yang terjadi mempunyai pola yang berkebalikan, dimana lendutan berkurang seiring dengan meningkatnya beban yang mampu dipikul oleh panel.

Kata kunci : Pemodelan, Software Abaqus, Sandwich panel, Perilaku lentur.

### PENDAHULUAN

Dalam upaya mengaplikasikan komposit serat alam yang dikombinasikan dengan matriks polimer sebagai elemen struktural, Fajrin dkk. (2013) mengembangkan komposit panel *sandwich hibrid*. Konsep utama yang mendasari inovasi yang dikembangkan tersebut adalah material hibridisasi, di mana komposit serat alam hanya digunakan sebagai lapisan tambahan antara kulit dan inti struktur sandwich untuk menghasilkan elemen struktural ringan yang mampu menahan beban besar dengan biaya yang wajar. Namun, sebagian besar penelitian yang telah dilakukan sejauh ini masih bersifat eksperimental. Proses optimasi harus dilakukan untuk mengoptimalkan hasil menggunakan metode yang lebih ekonomis dan efektif, seperti pendekatan elemen hingga (*finite element modelling*).

Saat ini, terdapat banyak perangkat lunak yang dapat digunakan untuk memodelkan perilaku material atau komponen struktur dengan sangat akurat menggunakan prinsip metode elemen hingga. Salah satu perangkat lunak yang sering digunakan di bidang teknik sipil adalah perangkat lunak ABAQUS/CAE, sebuah paket program simulasi teknik berbasis metode elemen hingga yang dapat memecahkan permasalahan linear sederhana maupun permasalahan non-linear yang menantang. Perangkat lunak ini memiliki kemampuan untuk memprediksi perilaku material atau komponen statis dengan baik, sehingga menghemat biaya penelitian. Artikel ini melaporkan hasil pemodelan yang dilakukan dalam dua tahap kegiatan: membangun model dan menggunakan model untuk melakukan studi parametrik setelah model dinyatakan valid.

## TINJAUAN PUSTAKA

Untuk memastikan sifat material dan meminimalkan jumlah eksperimen yang diperlukan, Metode Elemen Hingga (FEM) mensimulasikan perilaku material (Schreiber, 2015). ABAQUS/CAE adalah salah satu program yang telah banyak digunakan untuk melakukan penelitian di bidang material dan struktur. Pustaka elemen yang luas dalam program ini dapat digunakan untuk memodelkan hampir semua geometri. Dengan menghubungkan geometri setiap komponen dengan model material yang relevan dan memahami bagaimana komponen-komponen tersebut berinteraksi, permasalahan yang melibatkan banyak komponen dapat dimodelkan. Panel sandwich telah menjadi subjek berbagai studi elemen hingga yang menggunakan ABAQUS/CAE dan perangkat lunak lainnya.

Farhadi, dkk (2015) dalam laporannya, respon mekanis dinamis dari panel *sandwich* dengan inti *honeycomb* persegi dilakukan menggunakan software ABAQUS/CAE, yang terbuat dari austenitic *stainless steel*. Dari serangkaian hasil yang diperoleh pada penelitiannya, keuntungan menggunakan struktur *sandwich* dengan inti cellular metal telah dibuktikan sebagai bahan yang cocok untuk desain terhadap lendutan yang mampu menahan muatan ledakan udara. Selanjutnya, Awad, dkk (2014) dalam laporannya, menyelidiki analisis numerik GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*) tunggal dan lem laminasi *sandwich* balok. Peneliti lain, Caliskan, dkk (2017) dalam laporannya, menjelaskan respons dampak dari panel sandwich inti (core) expanded polystyrene foam (EPS) untuk kepadatan inti (core) yang berbeda dari berbagai energi tumbukan. Gaya kontak minimum muncul untuk panel dengan kerapatan inti busa (*foam*) lebih rendah dan defleksi pusat minimum muncul untuk panel dengan kerapatan inti busa lebih tinggi.

Febriyan, dkk (2016) dalam laporannya, desain balok *sandwich* GFRP – *Foam* dimodelkan dalam kondisi elastis menggunakan software FEM ABAQUS/CAE dengan mode *orthotropic* material. Analisa ASD dari panel balok *sandwich* menunjukkan bahwa tegangan – tegangan yang terjadi masih di bawah tegangan batas yang di iijinkan. Pengujian balok *sandwich* menggunakan metode *four point bending* menunjukkan perilaku panel balok *sandwich* sebagai struktur yang getas. Selain itu, Fajrin, dkk (2011) mengenalkan lapisan antara (*intermediate layer*) yang mampu secara signifikan meningkatkan kekuatan lentur panel *sandwich hybrid*. Analisis hasil penelitian menggunakan *perspektif statistics*. Peneliti yang sama, Fajrin, dkk (2016) melaporkan hasil pengujian mereka mengenai perilaku lentur panel *sandwich hybrid* dengan lapisan tambahan yang terbuat dari komposit serat alam. Penambahan *intermediate layer* membantu panel *sandwich* untuk mempertahankan regangan yang lebih besar sebelum mencapai beban maksimumnya, menghasilkan deformasi yang lebih tinggi dari kemampuan panel *sandwich* konvensional. Penelitian tersebut kemudian dikembangkan lebih lanjut dan Fajrin, dkk (2017) melakukan pengujian skala penuh. *Hybrid* panel *sandwich* dibuat dalam bentuk *structural insulated panels* (SIPs). Hasil pengujian menunjukkan bahwa kapasitas dukung beban SIP *hybrid* dengan lapisan *intermediate layer* yang terbuat dari serat Jute dan medium density fiber (MDF) masing-masing sekitar 62,59% dan 168,58% lebih tinggi dibandingkan dengan SIP konvensional tanpa lapisan perantara.

Selanjutnya, Tuswan dkk (2021) juga menggunakan software Abaqus dalam penelitian mereka tentang pengaruh penerapan panel sandwich terhadap perilaku statis dan dinamis pintu *ramp* feri ro-ro. Dalam penelitian ini, lima model modifikasi menggunakan ketebalan *sandwich* dan konfigurasi

pengaku yang berbeda dibandingkan menggunakan analisis statis untuk menganalisis perbandingan kekuatan struktural dan penghematan berat. Selain itu, respons dinamis juga diselidiki karena masalah *debonding*. Pengaruh rasio *debonding*, geometri, jumlah *debonding*, kedalaman *debonding*, lokasi *debonding*, dan kondisi batas dilakukan. Hasil analisis statis menunjukkan bahwa Model C menyebabkan peningkatan rasio kekuatan terhadap berat dibandingkan dengan model yang ada. Selanjutnya, frekuensi alami dihitung sebagai parameter modal untuk menyelidiki masalah *debonding*. Frekuensi alami model yang didebonding menurun karena diskontinuitas di area yang rusak. Respons dinamis menggunakan perubahan frekuensi alami dapat dilakukan sebagai teknik pemantauan kesehatan struktural.

Pada penelitian lain, Wicaksono dkk. (2021) juga menggunakan *Software Abaqus* untuk melakukan simulasi numerik kerusakan panel komposit *sandwich* akibat dampak hidrodinamik. Dalam studi ini, simulasi numerik menerapkan metode *Coupled Eulerian-Lagrangian* (CEL) yang dilakukan untuk mengamati mekanisme kerusakan panel komposit *sandwich*. Metode CEL menggabungkan rangka *Lagrangian* dan *Eulerian* menjadi satu model. Dengan demikian, analisis deformasi struktur dan gerakan fluida dapat dilakukan secara bersamaan. Hasil simulasi numerik menunjukkan kesesuaian yang wajar dengan hasil eksperimen dalam literatur, yang menunjukkan bahwa metodologi saat ini dapat merepresentasikan respons panel komposit *sandwich* dalam kondisi nyata, terutama sebelum kegagalan inti geser dimulai.

Hasil penelitian yang lebih baru terkait penggunaan *software Abaqus* untuk memodelkan struktur *sandwich* dilaporkan oleh Prata dkk. (2023). Penelitian mereka membahas prosedur pemodelan elemen hingga untuk mensimulasikan struktur *sandwich* dengan inti *auxetic* heterogen yang dapat masuk kembali. Material permukaannya adalah polimer yang diperkuat serat karbon searah (UD CFRP) dan intinya adalah asam polilaktat (PLA). Model ini dikenai pembebanan impak kecepatan rendah dan dijalankan melalui perangkat lunak ABAQUS/Explicit. Hasil permodelan menunjukkan bahwa *software Abaqus* dapat mensimulasikan hingga ke daerah elastis dan mengidentifikasi elemen mana yang mengalami kegagalan. Namun, model ini tidak dapat sepenuhnya menyerupai dan merepresentasikan model dari referensi, di mana fraktur atau kerusakan tidak terjadi. Model ini dapat ditingkatkan lebih lanjut dalam strategi pemodelan materialnya, terutama dalam pemodelan fraktur permukaan komposit dengan sifat material yang kompatibel di semua sektor yang diperlukan, terutama bagian yang rusak, yang sangat diperlukan.

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah *numerical modelling* menggunakan *software Abaqus student Version*. Tahap pertama adalah membangun model sesuai dengan eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya, dan kedua melakukan studi parametrik berdasarkan model yang sudah valid. Kevalidan model yang dibangun ditandai dengan kemiripan hasil yang diberikan oleh model dengan hasil pengujian eksperimental sebelumnya. Panel *sandwich* dibuat dengan ukuran panjang, lebar dan panjang sebesar 550 mm x 50 mm x 22 mm. Sementara, ketebalan komponen panel *sandwich* yang dimodelkan ditampilkan pada Tabel 1, dengan ketebalan total panel sebesar 22 mm untuk semua panel yang dimodelkan.

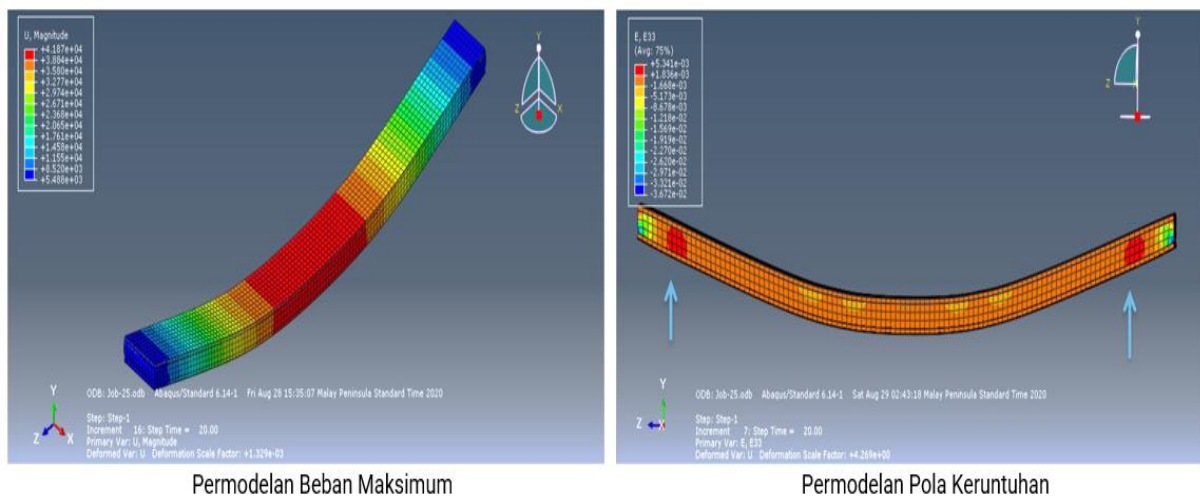
Tabel 1 Ketebalan komponen panel sandwich

| Tahapan Permodelan                                                         | Ketebalan komponen panel sandwich |                                             |                     |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|
|                                                                            | Kulit (skin)<br>(mm)              | Lapisan Antara (intermediate layer)<br>(mm) | Inti (core)<br>(mm) |
| Pembuatan model untuk validasi                                             | 0,5                               | 3                                           | 15                  |
| Model untuk studi parametrik panel sandwich dengan ketebalan kulit berbeda | 1; 1,5 ; 2                        | 3                                           | 14; 13 ; 12         |
| Model untuk studi parametrik panel sandwich dengan ketebalan kulit berbeda | 1                                 | 3,5; 4; 4,5                                 | 13; 12; 11          |

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Membangun Model Elemen Hingga

Pada bagian ini dikembangkan model elemen hingga menggunakan software Abaqus berdasarkan hasil pengujian laboratorium yang dilaporkan oleh Fajrin dkk (2016). Pada eksperimen tersebut, benda uji yang digunakan memiliki ukuran 22 mm x 50 mm x 550 mm yang terdiri dari lapisan kulit berupa aluminium 5005 H34 dengan tebal 0.5 mm, lapisan intermediate berupa jute fiber composite dengan tebal 3 mm dan core berupa Isolite® EPS dengan tebal 15 mm. Setelah model dikembangkan, maka dilakukan analisa kesesuaian model dengan hasil pengujian laboratorium. Model elemen hingga yang dibuat dengan software Abaqus diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Model elemen hingga panel sandwich hibrid

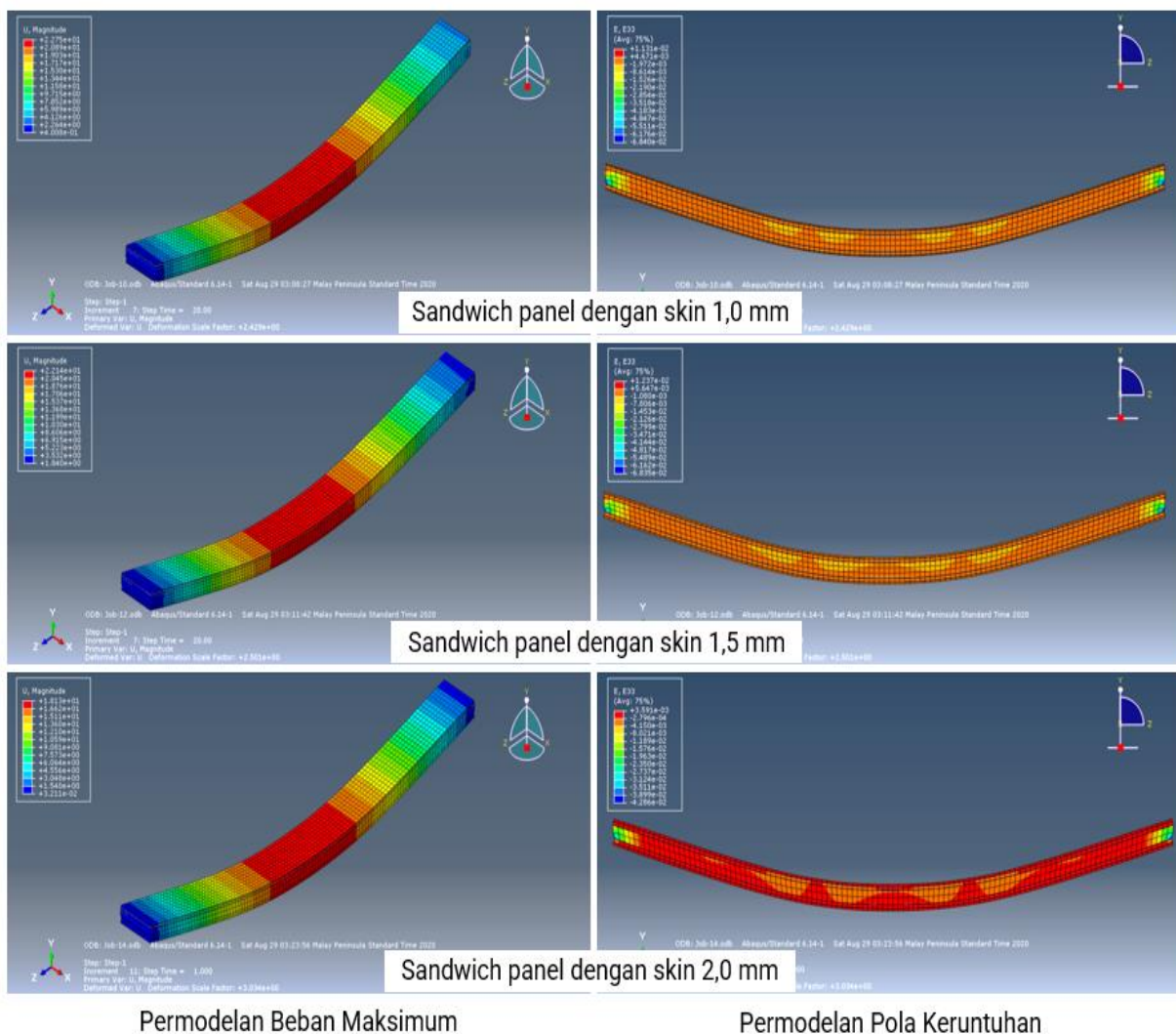
Berdasarkan informasi yang ditunjukkan pada Gambar 1, diketahui bahwa beban maksimum pada pemodelan panel sandwich adalah sebesar 409,03 N dengan lendutan sebesar 63,30 mm. Sementara beban aktual yang dipikul oleh panel *sandwich* pada saat pengujian laboratorium adalah 396,25 N dengan lendutan sebesar 55 mm. Selisih beban maksimum dan lendutan pada eksperimen dan pemodelan adalah sebesar 3,12% dan 12,42%. Dengan selisih antara model dan aktual eksperimen yang kurang dari 15%, maka model yang dibangun dianggap sudah reliable untuk melakukan tahapan selanjutnya yaitu studi parametrik.

## Studi Parametrik

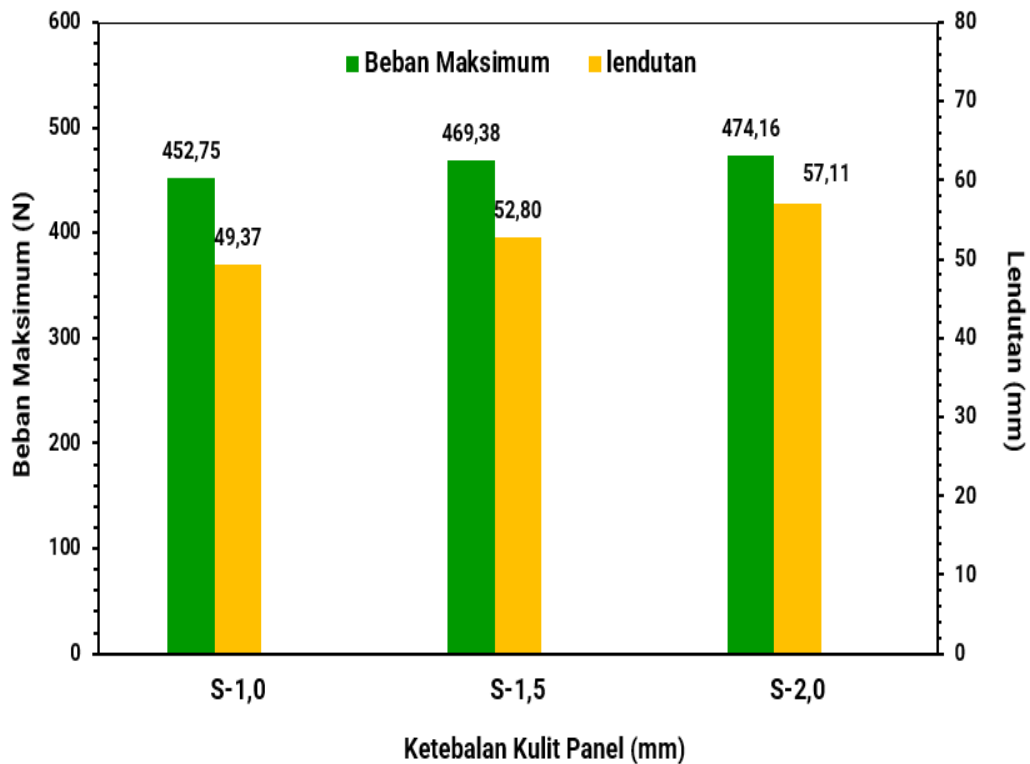
Studi parametrik ini dilakukan dengan cara menggunakan model yang sudah dibangun untuk melakukan optimisasi pengaruh ketebalan kulit (*skin*) dan ketebalan lapisan antara (*intermediate layer*) *sandwich* panel terhadap kuat lentur optimum yang mampu dipikul oleh panel.

### Pengaruh ketebalan kulit (*skin*) panel *sandwich*

Pada tahapan ini, model yang telah dikembangkan pada tahapan sebelumnya diberikan kulit berupa aluminium 5005 H304 dengan ketebalan yang bervariasi, yakni 1 mm, 1,5 mm dan 2 mm. panel *sandwich* juga ditambahkan lapisan antara antara kulit dengan intinya dengan ketebalan yang sama, yakni 3 mm. Ketebalan inti panel *sandwich* menyesuaikan sehingga diperoleh ketebalan total 22 mm untuk semua panel, yakni sebesar 12, 13 dan 14 mm. Hasil pemodelan ini berupa beban maksimum dan lendutannya, diperlihatkan pada Gambar 2. Sementara rangkuman hasil pemodelan diperlihatkan pada Gambar 3.



**Gambar 2** Hasil pemodelan perilaku lentur panel sandwich dengan ketebalan kulit berbeda

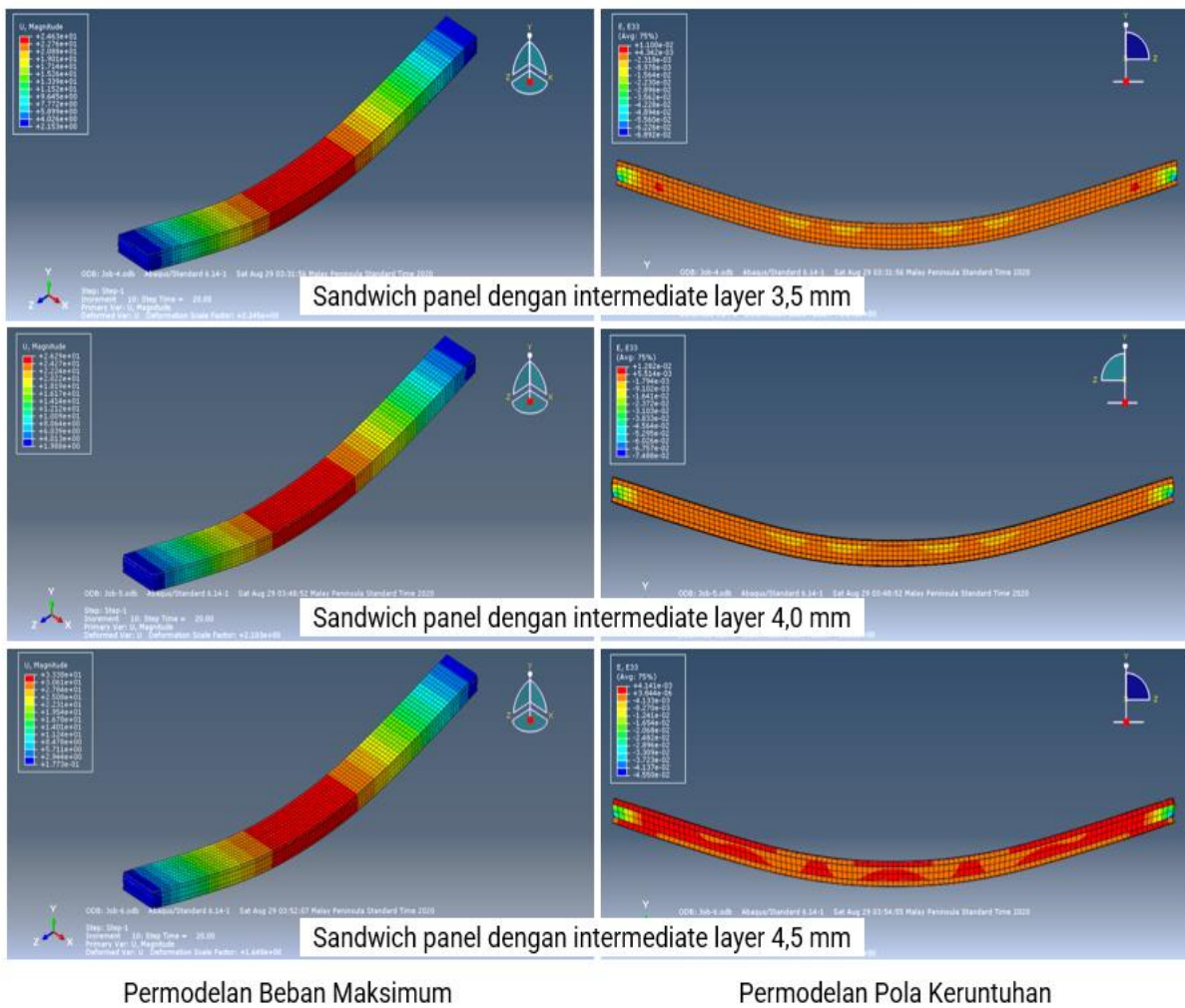


**Gambar 3** Beban maksimum dan lendutan panel *sandwich hibrid* hasil pemodelan dengan ketebalan kulit yang berbeda

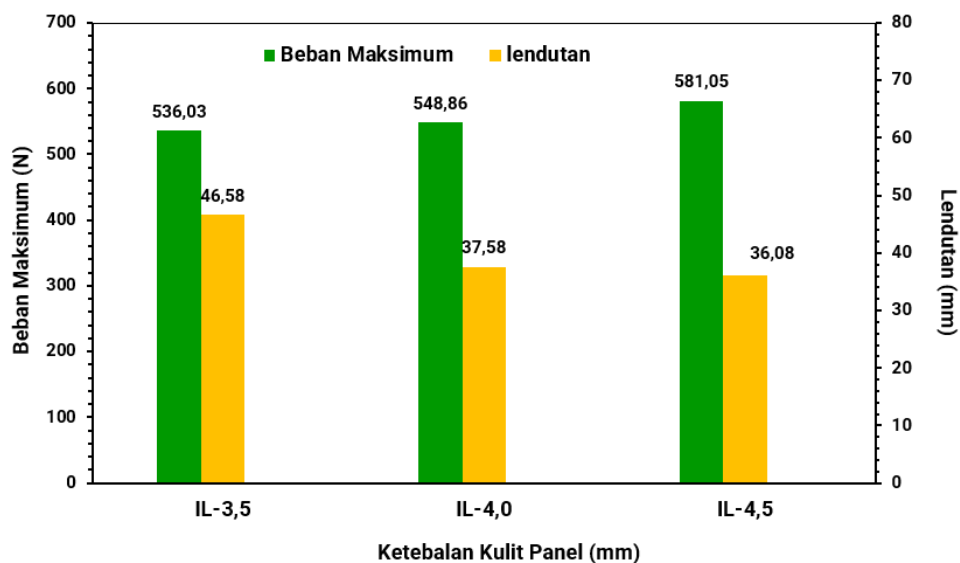
Terlihat bahwa pada panel *sandwich* dengan ketebalan kulit 1 mm, beban maksimum yang mampu dipikul adalah 452,75 N dengan lendutan maksimum sebesar 49,37 mm. Sementara pada panel dengan ketebalan kulit 1,5 mm dan 2 mm, beban maksimumnya masing-masing adalah sebesar 469,38 N dan 474,16 N. Kedua beban maksimum tersebut dicapai pada kondisi lendutan sebesar 52,8 mm dan 57,11 mm. Terlihat dengan jelas bahwa kemampuan panel *sandwich hibrid* dalam memikul beban berbanding lurus dengan ketebalan kulit nya. Sementara lendutan yang terjadi juga mempunyai pola yang sama, lendutan bertambah seiring meningkatnya ketebalan kulit. Sepertinya lendutan pada panel *sandwich* dengan ketebalan kulit yang berbeda lebih dipengaruhi oleh besarnya beban yang dipikul dibandingkan dengan pengaruh ketebalan kulitnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Terkait dengan pola keruntuhan, terlihat bahwa tingkat konsentrasi tegangan yang tinggi pada bagian dibawah perletakan beban, sedangkan pada bagian berwarna biru–kuning memiliki tingkat konsentrasi tegangan lebih rendah.

#### **Pengaruh ketebalan lapisan antara (*intermediate layer*) panel *sandwich***

Sama seperti hal nya pada studi parametrik terhadap ketebalan kulit, maka pada tahapan ini model yang telah dikembangkan diberikan lapisan antara (*intermediate layer*) dengan ketebalan yang bervariasi, yakni 3,5 mm, 4 mm dan 4,5 mm. Kulit panel *sandwich* tetap menggunakan aluminium 5005 H304 dengan ketebalan 1 mm. Ketebalan core menyesuaikan sehingga diperoleh ketebalan total panel sebesar 22 mm, yakni sebesar 11, 12 dan 13 mm. Hasil pemodelan ini berupa beban maksimum dan lendutannya yang diperlihatkan pada Gambar 4. Sementara rangkuman hasil permodelan diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Hasil pemodelan perilaku lentur panel *sandwich* dengan ketebalan lapisan antara (*intermediate layer*) berbeda



Gambar 5. Beban maksimum dan lendutan panel *sandwich* hibrid hasil pemodelan dengan ketebalan lapisan antara (*intermediate layer*) yang berbeda

Terlihat bahwa pada panel sandwich dengan ketebalan intermediate layer 3,5 mm, beban maksimum yang mampu dipikul adalah 536,03 N dengan lendutan maksimum sebesar 46,58 mm. Sementara pada panel dengan ketebalan intermediate layer 4 mm dan 4,5 mm, beban maksimumnya masing-masing adalah sebesar 548,86 N dan 581,05 N. Kedua beban maksimum tersebut dicapai pada kondisi lendutan sebesar 37,58 mm dan 36,08 mm. Terlihat bahwa kemampuan memikul beban berbanding lurus dengan ketebalan *intermediate sandwich panel*, semakin tebal intermediate layer maka beban yang mampu dipikul semakin bertambah. Namun berbeda dengan pola yang ditemukan pada panel dengan ketebalan kulit yang berbeda, lendutan yang terjadi mempunyai pola yang berkebalikan, dimana lendutan berkurang seiring dengan meningkatnya beban yang mampu dipikul oleh panel, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Terkait dengan pola keruntuhan, terlihat bahwa tingkat konsentrasi tegangan yang tinggi pada bagian dibawah perletakan beban, sedangkan pada bagian berwarna biru–kuning memiliki tingkat konsentrasi tegangan lebih rendah.

Secara umum terlihat bahwa *software Abaqus* mampu memodelkan secara akurat perilaku *sandwich panel* yang dapat dilihat dari tidak jauh berbedanya hasil eksperimen dan permodelan. Hal yang sama dilaporkan juga oleh peneliti-peneliti lain sebelumnya yang diacu dalam penelitian ini (Tuswan dkk. (2021); Wicaksono dkk. (2021), dan Prataman dkk. (2023)).

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Kesimpulan yang bisa diambil dari studi pemodelan ini adalah sebagai berikut:

- 1) Program atau software Abaqus CAE 6.14-1 mampu memodelkan hasil eksperimen di laboratorium dengan sangat akurat. Selisih beban maksimum dan lendutan pada eksperimen dan pemodelan adalah sebesar 3,12% dan 12,42%. Dengan selisih antara model dan aktual eksperimen yang kurang dari 15%, maka model yang dibangun dianggap sudah reliable.
- 2) Kemampuan panel sandwich hibrid dalam memikul beban berbanding lurus dengan ketebalan kulit nya. Sementara lendutan yang terjadi juga mempunyai pola yang sama, lendutan bertambah seiring meningkatnya ketebalan kulit. Sepertinya lendutan pada panel sandwich dengan ketebalan kulit yang berbeda lebih dipengaruhi oleh besarnya beban yang dipikul dibandingkan dengan pengaruh ketebalan kulitnya.
- 3) kemampuan memikul beban berbanding lurus dengan ketebalan intermediate sandwich panel, semakin tebal intermediate layer maka beban yang mampu dipikul semakin bertambah. Namun berbeda dengan pola yang ditemukan pada panel dengan ketebalan kulit yang berbeda, lendutan yang terjadi mempunyai pola yang berkebalikan, dimana lendutan berkurang seiring dengan meningkatnya beban yang mampu dipikul oleh panel.

## DAFTAR PUSTAKA

- Awad Z. K., Aravinthan T., Zhuge Y. (2014). Finite Element Analysis of Glass Fibre Reinforced Polymed Single and Glue Laminated Sandwich Beams Under Four Point Bending. *RCEE*, 2014, p 24-44, ISSN : 2345-3109.
- Caliskan U. dan Apalak M. K. (2017). FEM Analysis of Low Velocity Impact Behaviour of Sandwich Panels With EPS Foam Core. *Journal of Thermal Engineering*, 3(6), p 1544-1552. ISSN 21487847.

Fajrin J., Zhuge Y., Bullen F., Wang H. (2011). *The Implementation of Statistical Infrence to Study the Bending Strength of Suistainable Hybrid Sandwich Panel Composite*. Advanced Material Research, Vols 250-253, p.956-961, ISSN 1662-8985.

Fajrin J., Zhuge Y., Bullen F., Wang H. (2016). Flexural Behaviour of Hybrid Sandwich Panel with Natural Fiber Composites as The Intermediate Layer. *JMES*, Vol 10, p 1968-1983, ISSN: 2231-8380.

Fajrin, J., (2013). *Sustainable Hybride Composite Sandwich panel with Natural Fiber Composit as Intermediate Layer*. Disertasi. University of Shourthen Quesland Australia.

Fajrin J., Zhuge Y., Bullen F., Wang H. (2017). The Structural Behaviour of Hybrid Structural Insulated Panels Under Pure Bending Load. *IJTechnology*, Vol 5, p 777-788, ISSN: 2086-9614.

Farhadi K., Amir Afkar., Majid Nouri Kamari. (2015). Numerical Simulation of Metallic Honeycomb Sandwich Panel Structure Under Dynamic Loads. *JMES*, June 2015, p 2013-2020, ISSN: 2028-2508.

Febriyan D. M., Faimun., Suprobo P. (2016), Studi Eksperimen Balok Sandwich Glass Fiber Reinforcement Panel – Foam (GFRP – FOAM) Pada Rumah Sederhana Dua Lantai. *Jurnal Teknik ITS*, Vol 5, p 221- 226 ISSN: 2337-3539.

Pratama V., Jusuf A., Yudhanto A., Hadi B.K. (2023). Finite element procedure to simulate sandwich structure with an auxetic core under impact loading using ABAQUS/Explicit, *International Journal of Advances in Applied Sciences (IJAAS)*, 12(1), pp. 37-47.

Tuswan T., Achmad Z., Bambang P., Abdi I., Rizky C.A., Muhammad F.I., Fikri I.M. (2021). Influence of application of sandwich panel on static and dynamic behaviour of ferry ro-ro ramp door. *Journal of Applied Engineering Science*, 19(1), hal 208 - 216.

Wicaksono S., Muharram N.R., Judawisastra H., Dirgantara T. (2021), Numerical Simulation of Damage in Sandwich Composite Panels Due to Hydrodynamic Impact, *J. Eng. Technol. Sci.*, 53(3).