

Studi Numerik pada Struktur Lantai Sandwich berbahan Polyvinyl Chloride

Hendri Hermawan¹, Didik Budi Fariada²

¹ Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Jl. Raya Gajah Mada 66B Sidoarjo

² Program Profesi Insinyur, Universitas Muhammadiyah Malang, Jl. Raya Tlogomas 246 Malang

Kontak Person:

Hendri Hermawan, ST, MT

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

hendrihermawan@umsida.ac.id

Abstrak

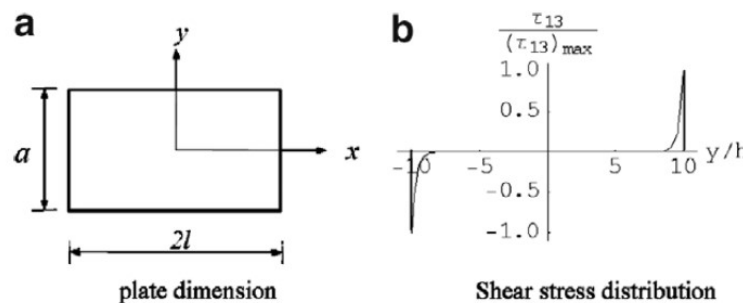
Struktur lantai dari lembar dan pipa konduit berbahan Polyvinyl Chloride (PVC) yang tersusun menyerupai sandwich dianalisis secara numerik pada artikel ini. Model inti (core) berbentuk hexagon pada penelitian sebelumnya didekati dengan alternatif geometri lingkaran yang lebih aplikatif dan praktis pada pembangunan rumah sederhana. Parameter yang dianalisis mencakup distribusi tegangan, deformasi, dan kapasitas beban. Hasil simulasi menunjukkan bahwa bahan PVC memiliki faktor rasio antara beban dan ketebalan laminasi terhadap faktor panjang bentang yang unggul dibanding penggunaan beton, serta berpotensi untuk diterapkan dalam berbagai aplikasi konstruksi.

Kata kunci: sandwich, laminasi, ABAQUS

1. PENDAHULUAN

Panel sandwich dengan core berbentuk sarang lebah umumnya digunakan di industri aviasi karena *strength-weight ratio* yang tinggi, sifat akustik yang bagus dan banyak lagi keunggulan lainnya. Beberapa peneliti dibawah mengemukakan bahwa teori pelat klasik (*classical plate theory*) memberikan hasil yang tidak akurat untuk pelat komposit karena deformasi geser transversal diabaikan. Sedangkan teori pelat deformasi geser orde pertama (*first-order shear deformation plate theory*), yang dikembangkan oleh Mindlin [1] untuk pelat isotropik, dan Yang et al. [2] untuk pelat laminasi, memberikan hasil yang cukup akurat untuk pelat tipis.

Reddy [3] mengembangkan teori pelat deformasi geser orde ketiga yang disederhanakan (*third-order shear deformation plate theory*) dan penerapan lanjutan konsep TSDPT tersebut oleh Shi [4] yang melakukan simplifikasi dengan memasukan pengaruh perekat *adhesive* yang semakin memunculkan keberhasilan konsep tersebut.



Gambar 1. Konsep distribusi tegangan pada plat

Untuk mempermudah, namun tanpa kehilangan fitur lentur dasar pelat fleksibel geser, perpindahan dalam bidang u_0 dan v_0 dihilangkan, dan notasi w digunakan untuk w dalam derivasi persamaan pemerintahan berikut ini. Kinematika perpindahan pada Persamaan. (4) menghasilkan komponen regangan pelat lentur sebagai:

$$\varepsilon_1 = \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{5}{4}(z - \alpha_1 z^3) \frac{\partial \phi_x}{\partial x} + \left(\frac{z}{4} - \alpha_2 z^3\right) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}$$

$$\varepsilon_z = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{5}{4}(z - \alpha_1 z^3) \frac{\partial \phi_y}{\partial y} + \left(\frac{z}{4} - \alpha_2 z^3\right) \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}$$

$$\gamma_{12} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$$

$$\gamma_{23} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z}$$

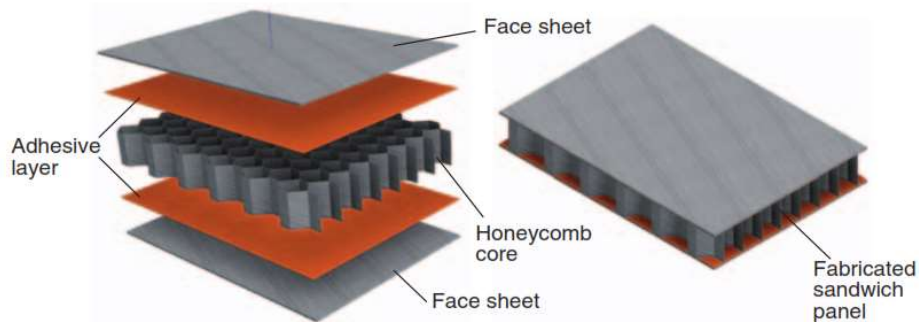
$$\gamma_{13} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}$$

2. METODE PENELITIAN

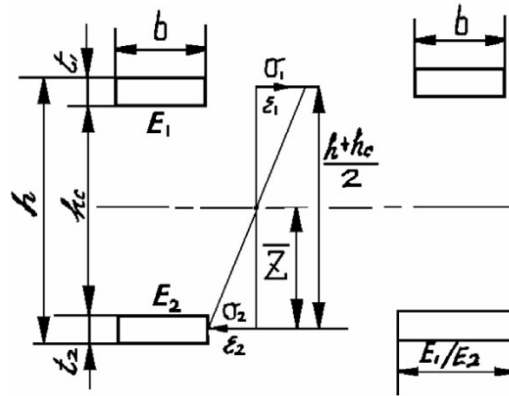
Struktur *sandwich* sarang lebah memiliki punyai kekakuan lenturan yang tinggi dan bobot rendah. Berikut beberapa asumsi dasar yang penulis ikuti pada artikel ini dalam deduksi prosedurnya [5]

1. Tebal plat laminasi dianggap tidaksignifikan dibandingkan dengan total tebal *sandwich*.
2. Tegangan geser pada *core* dianggap konstan. Asumsi untuk *core* tersebut tidak memberikan kontribusi yang signifikan terhadap nilai kekakuan lentur *sandwich*.
3. Konstruksi *sandwich* sarang lebah bersifat anisotropi
4. Rotasi inersia plat muka terhadap sumbu netral diabaikan.
5. *Sandwich* mempunyai plat dengan ketebalan yang sama dan material yang identik

Itu kekakuan lentur panel adalah salah satu yang paling penting parameter dalam desain struktural. Bagian yang dihitung luas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, diasumsikan bahwa penampang luas dua lembar yang berhadapan keduanya efektif. Untuk mencapai kekakuan lentur maksimum dan kekuatan lentur, kondisi bobot yang memuaskan berat inti sarang lebah adalah 50–66,7% dari berat panel sandwich sarang lebah utuh [6]. *Core* sering kali dihomogenisasi untuk mengurangi waktu perhitungan yang terbatas model elemen inti sarang lebah. Artinya inti sarang lebahnya adalah digantikan oleh inti padat penuh, yang memiliki perilaku ortotropik yang kurang lebih sama sebagai inti sarang lebah yang sebenarnya [7]

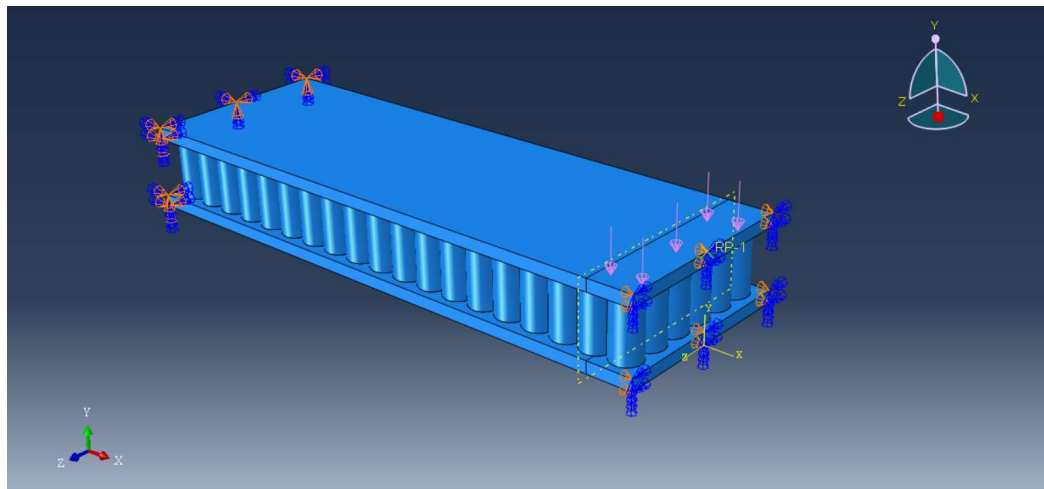


Gambar 2. Bagian-bagian dari lamina



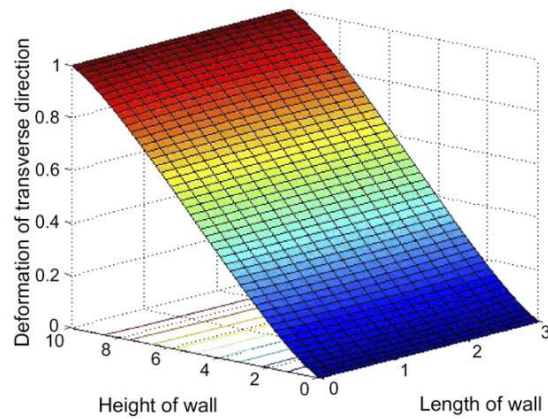
Gambar 3. Analisa tegangan penampang

Panel sandwich yang dibebani secara melintang mengalami tegangan normal dan tegangan geser: Pertama, lembaran muka terutama mengalami beban tarik dan tekan. Kedua, inti mengalami tegangan geser (Gambar 3). Penentuan analitis tegangan geser pada inti dirinci kemudian. Dalam kasus Gambar 3 (arah W), tegangan geser terdistribusi secara merata dinding bebas, yang memudahkan penghitungan tegangan. Node tidak dikenai terhadap tegangan geser apa pun.



Gambar 4. Pendekatan geometri honeycomb dengan pengganti pipa dan lembaran PVC

Pemodelan seluruh sarang lebah untuk analisis elemen hingga tidak masuk akal dipertimbangkan karena kompleksitas struktur tersebut. Modelnya seharusnya memiliki terlalu banyak derajat kebebasan untuk dipelajari dengan program elemen hingga biasa. Metode yang dijelaskan di bawah ini memungkinkan penghitungan modulus geser serta keadaan tegangan geser di dinding sarang lebah melalui studi model yang sangat sederhana yang disebut sel satuan mewakili seluruh sarang lebah.[8]. Nilai modulus dan kekuatan geser transversal ekuivalen diprediksi dengan penerapan teori balok kantilever dan teori tekuk geser pelat tipis dalam hubungannya dengan penyederhanaan asumsi perpindahan inti [9]

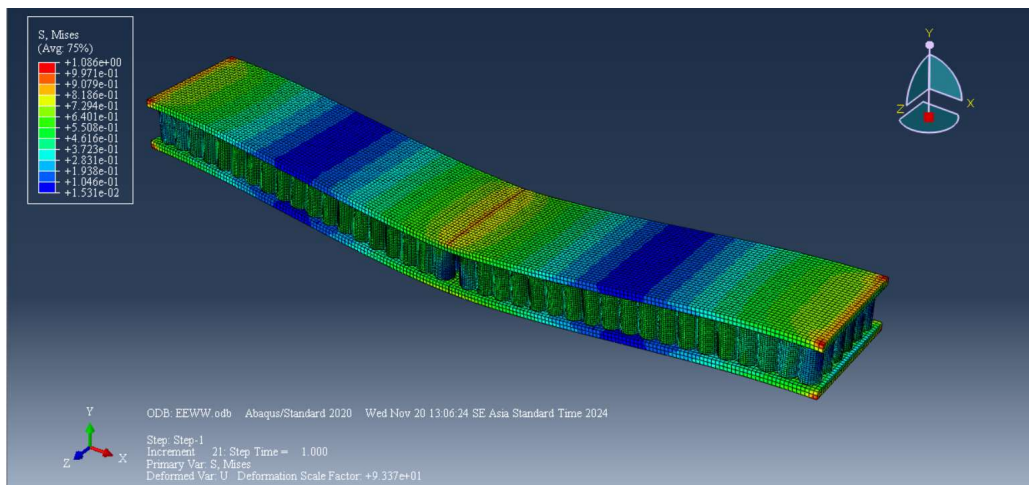


Gambar 5. Hubungan antara deformasi dan panjang lamina

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

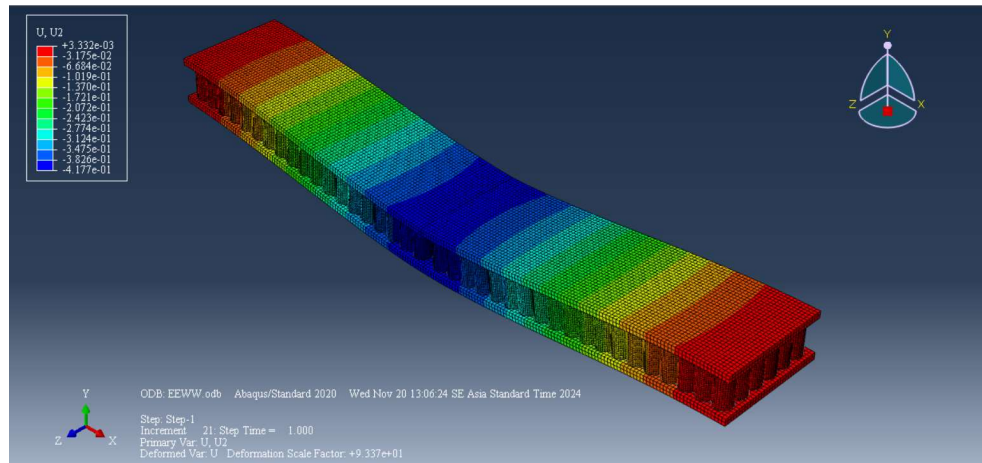
Pengaruh core terhadap distribusi tegangan terlihat dipengaruhi pada jenis pembebanan yang disimulasikan di ABAQUS. Dalam kasus *fixed-end* benda uji dalam penulisan ini, pengaruh gradasi beban lantai dibatasi seluas telapak kaki orang dewasa. Untuk tujuan ini, pembebanan akan dicacah dalam bentang numerik selama periode 1 detik

3.1 Hasil distribusi tegangan



Gambar 6. Defleksi pada plat

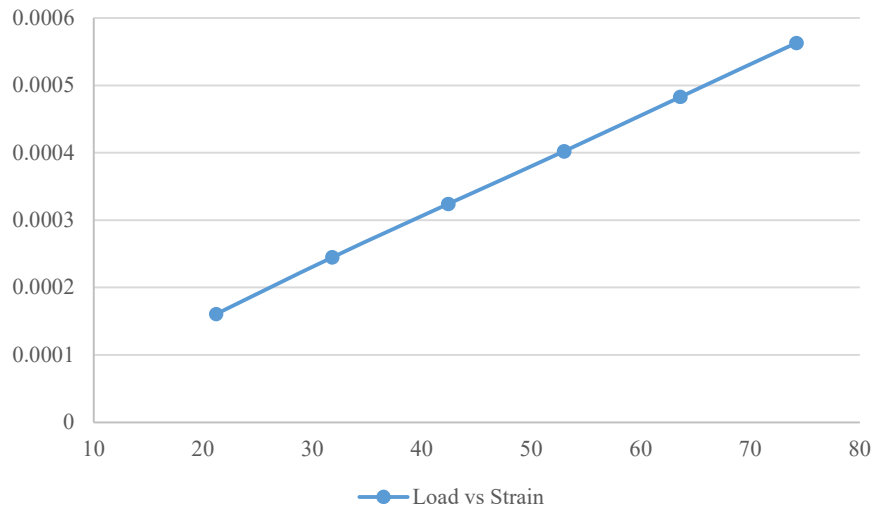
3.2 Hasil deformasi transversal



Gambar 7. Distribusi deformasi sepanjang plat

Tabel 1

Benda Uji	Beban (Mpa)	Defleksi (mm)	Regangan
1	0.01	0.0831931	
2	0.02	0.1671	0.000161
3	0.03	0.2506	0.0002451
4	0.04	0.3342	0.0003242
5	0.05	0.41777	0.0004025
6	0.06	0.5012	0.000483
7	0.07	0.5848	0.000563



Gambar 8. Grafik hubungan P dan ϵ yang terlihat linear

4. KESIMPULAN

Analisis yang dilakukan pada struktur sandwich klasik menunjukkan bahwa untuk pemodelan numerik menggunakan ABAQUS menunjukkan hasil yang linier dalam mempertahankan efek deformasi transversal. Informasi tersebut merupakan prasyarat ketika efek analisa *3D solid* dilakukan jika pengguna memerlukan tingkat akurasi lanjutan. Memang benar, dengan menggunakan yang terakhir, hasilnya cocok dengan solusi elastisitas 3D bahkan dengan perluasan komponen perpindahan tingkat rendah. Ketika berhadapan dengan struktur sandwich FG, teori pelat ESL dan ZZ kuasi-3D yang canggih memberikan hasil yang lebih akurat, dalam hal frekuensi alami dan suhu kritis, dibandingkan dengan teori pelat laminasi klasik (CLPT), teori deformasi geser orde pertama (FSDT), dan teori deformasi geser orde tinggi (HSDT), dan/atau teori pelat lainnya berdasarkan fungsi trigonometri

REFERENSI

- [1] R. D. Mindlin, "Influence of Rotatory Inertia and Shear on Flexural Motions of Isotropic, Elastic Plates," *J Appl Mech*, vol. 18, no. 1, pp. 31–38, Mar. 1951, doi: 10.1115/1.4010217.
- [2] P. C. Yang, C. H. Norris, and Y. Stavsky, "Elastic wave propagation in heterogeneous plates," *Int J Solids Struct*, vol. 2, no. 4, pp. 665–684, Oct. 1966, doi: 10.1016/0020-7683(66)90045-X.
- [3] J. N. Reddy, "A Simple Higher-Order Theory for Laminated Composite Plates," *J Appl Mech*, vol. 51, no. 4, pp. 745–752, Dec. 1984, doi: 10.1115/1.3167719.
- [4] G. Shi, "A new simple third-order shear deformation theory of plates," *Int J Solids Struct*, vol. 44, no. 13, pp. 4399–4417, Jun. 2007, doi: 10.1016/j.ijsolstr.2006.11.031.
- [5] P. R. Cunningham and R. G. White, "A new measurement technique for the estimation of core shear strain in closed sandwich structures," *Compos Struct*, vol. 51, no. 3, pp. 319–334, Mar. 2001, doi: 10.1016/S0263-8223(00)00148-3.
- [6] M. He and W. Hu, "A study on composite honeycomb sandwich panel structure," *Mater Des*, vol. 29, no. 3, pp. 709–713, Jan. 2008, doi: 10.1016/j.matdes.2007.03.003.
- [7] L. Wahl, S. Maas, D. Waldmann, A. Zürbes, and P. Frères, "Shear stresses in honeycomb sandwich plates: Analytical solution, finite element method and experimental verification," *Journal of Sandwich Structures & Materials*, vol. 14, no. 4, pp. 449–468, Jul. 2012, doi: 10.1177/1099636212444655.
- [8] M. Grediac, "A finite element study of the transverse shear in honeycomb cores," *Int J Solids Struct*, vol. 30, no. 13, pp. 1777–1788, 1993, doi: 10.1016/0020-7683(93)90233-W.
- [9] S.-D. Pan, L.-Z. Wu, and Y.-G. Sun, "Transverse shear modulus and strength of honeycomb cores," *Compos Struct*, vol. 84, no. 4, pp. 369–374, Aug. 2008, doi: 10.1016/j.compstruct.2007.10.008.