

Khairul Anam

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
khairul.anam27@ub.ac.id

Anindito Purnowidodo

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
anindito@ub.ac.id

Tamara F. Utama

Mahasiswa (S1)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
utamatamara@gmail.com

Djarot B. Darmadi

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
b_darmadi_djarot@ub.ac.id

Ari Wahjudi

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
ari3ipa7@yahoo.com

Agung Sugeng Widodo

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
agung_sw@ub.ac.id

PENGARUH MODE GETAR DAN ASPEK RASIO TERHADAP DISTRIBUSI TEGANGAN PADA FIBER METAL LAMINATES

Fiber metal laminates (FMLs) are widely used in various fields such as automotive and aerospace due to their high stiffness and strength-to-weight ratios. Moreover, they also have high fatigue resistance. In some applications such as aircraft structures, it is crucial to do dynamic analysis of the FMLs structure. FMLs compose of aluminium and fiberglass reinforced polymers (FRPs) are used in this study. The aim of this study is to investigate the effect of shape mode and aspect ratio on the stress distribution of FML by using finite element analysis software. Ten initial mode shapes and the aspect ratio of 1:1.5, 1:2, and 1:2.5 are used as the environmental conditions of the FMLs. The results indicate that the mode shape will change the stress distribution and the maximum stress position. Besides, the results have shown that a wider FMLs plate will increase the maximum stress and deformation. The maximum to minimum stress distribution occurs on the outer aluminium surface, the inner aluminium surface, and the FRPs surface, respectively.

Keywords: *Fiber Metal Laminates, Aspect Ratio, Shape Mode, Stress Distribution, Vibration of Plates.*

1. PENDAHULUAN

Salah satu cara untuk membuat material dengan kualitas yang lebih baik dapat dilakukan dengan mengkombinasikan dua material atau lebih sehingga menghasilkan sifat mekanik yang berbeda, akan tetapi sifat utama dari material penyusunnya tidak hilang. Material ini biasa disebut dengan komposit. Komposit, yang terdiri dari dua atau lebih bahan terpisah yang dikombinasikan dalam unit struktural makroskopik, dibuat dari berbagai kombinasi dari tiga bahan lainnya (logam, polimer, dan keramik) [1,2]. Penggabungan ini juga dapat menghasilkan material komposit yang memiliki *strength to weight ratio* dan *stiffness to weight ratio* yang baik.

Bahan komposit telah digunakan di banyak bidang teknik seperti aplikasi manufaktur, otomatisasi dan konstruksi [3]. Karena kekuatan, kekakuan, daya tahan, dan ketahanan yang unggul terhadap korosi yang dipadukan dengan bobotnya yang ringan, komposit diaplikasikan di berbagai bidang seperti peralatan medis dan olahraga, infrastruktur sipil, kendaraan bawah laut dan kendaraan transportasi, instrumen berteknologi tinggi dan struktur ruang angkasa [4]. Biasanya material yang cocok pada instrument-instrument tersebut merupakan material yang relatif padat. Sehingga tercetuslah sebuah material kombinasi yang sebagai Fiber Metal Laminates (FMLs). FMLs adalah komposit jenis baru yang tidak homogen terdiri dari logam tipis dan lapisan serat tipis/epoksi. Komposit hibrida menggabungkan keunggulan logam, seperti toleransi kerusakan yang tinggi, ketahanan benturan yang kuat, dan keuletan yang baik, serta keunggulan serat (misalnya, ketahanan lelah yang baik, kekuatan dan kekakuan spesifik yang tinggi, dll.) [5-10]. Berdasarkan tipe fiber yang dijadikan penguat, FMLs dibagi menjadi 3 yaitu glass laminate aluminium-reinforced epoxy (GLARE), carbon-reinforced aluminium laminate (CARALL), dan aramid-reinforced aluminium laminates (ARALLS) [11,12].

Fiberglass adalah salah satu material penyusun komposit yang sering digunakan karena mudah didapat dan memiliki harga yang murah dibanding dengan bahan lain. Selain itu fiberglass juga memiliki kekuatan tarik yang relatif tinggi. Pada penelitian ini fiberglass digunakan sebagai penguat dan digabungkan dengan aluminium membentuk material komposit jenis lamina atau yang disebut fiber metal laminates.

Fiber-Metal Laminates (FMLs) terdiri dari logam alternatif yang disusun dan lapisan komposit yang diperkuat serat, sehingga karakteristik patahan dan kelelahan yang unggul terkait dengan material komposit yang diperkuat serat dapat dikombinasikan dengan perilaku plastik dan daya tahan yang ditawarkan oleh banyak logam [13]. Sistem penggabungan kedua material ini adalah dengan merekatkan lembaran logam dan lembaran serat sehingga menjadi sebuah material baru. Kombinasi dua material berbeda ini akan menghasilkan sebuah material dengan keuntungan kedua material tersebut.

FML memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan logam, terutama karena kekuatan dan kekakuannya yang spesifik dan tinggi, sifat kelelahan yang luar biasa. Pada umumnya banyak sekali struktur seperti pesawat mendapatkan beban berupa statis dan dinamis [14]. Oleh sebab itu, pemahaman mengenai getaran dan deformasi terhadap struktur FMLs sangat diperlukan untuk pengembangan material komposit. Berdasarkan penelitian sebelumnya dapat dilihat bahwa sejumlah penelitian terhadap beban dinamis cukup banyak. Tetapi kebanyakan berhubungan dengan sifat tarik dan kejut. Hanya sedikit sekali yang mengenai sifat dinamis pada pelat FML. Selain itu, distribusi tegan akibat beban dinamis juga sangat penting untuk diteliti dimana material akan mengalami kerusakan jika tegangan yang terjadi melewati tegangan kritis.

Penelitian ini memiliki variasi rasio sisi yang berbeda untuk mencari tegangan tertinggi di defleksi maksimum. Meningkatnya rasio sisi akan mengakibatkan peningkatan natural frekuensi yang terjadi. Sesuai dengan kondisi yang telah diuraikan sebelumnya, maka perlu dilakukan penelitian tentang ketahanan material komposit khususnya fiber metal laminates terhadap beban dinamis. Material yang digunakan adalah aluminium dan serat kaca yang disusun secara bertumpuk (lamina). Penelitian dilakukan dengan software berbasis metode elemen hingga untuk mengetahui bagaimana terdistribusinya tegangan akibat beban dinamis kemudian apakah getaran akan berpengaruh terhadap terdistribusinya tegangan.

Yang [15] dalam penelitian *a unified solution for vibration analysis of plates with general structural stress distributions* menjelaskan tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat tegangan sisa yang dapat dikurangi dengan getaran yang kemudian diverifikasi menggunakan metode perhitungan. Penelitian ini menggunakan *welding* sebagai sumber dari getaran yang menghasilkan tegangan sisa. Selain itu, Yang menemukan bahwa semakin tinggi nilai frekuensinya menghasilkan penyebaran tegangan yang semakin banyak. maka perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai hubungan frekuensi terhadap distribusi tegangan yang divariasikan dengan perbedaan rasio pada sisinya atau yang biasa disebut sebagai *Aspect Ratio*.

Mode getaran adalah bentuk deformasi dari suatu struktur pada frekuensi natural tertentu dari getaran. Setiap mode getar berkaitan dengan frekuensi natural. Frekuensi natural adalah frekuensi dimana suatu struktur cenderung bergetar secara natural jika struktur itu mengalami dislokasi. Rumus frekuensi dari pelat datar menggunakan metode Rayleigh pada jenis tumpuan *clamped* [16]

$$\omega_n^2 = \frac{\pi^4 D}{a^4 \rho} \frac{K}{N} \tag{1}$$

Keterangan:

- ω_n = frekuensi natural
- D = *flexural rigidity*
- E = modulus elastisitas
- h = tebal pelat
- ν = *poisson's ratio*
- ρ = massa jenis
- α = panjang pelat
- b = lebar pelat
- K = Fungsi bentuk
- N = koefisien frekuensi (= 2,25 untuk *fully clamped*)

Penelitian lebih lanjut sangatlah diperlukan untuk mengetahui distribusi tegangan akibat beban dinamis.

2. METODE DAN BAHAN

Metode yang dipakai pada penelitian adalah metode eksperimental semu atau metode numerik dengan menggunakan software berbasis Finite Element Method (FEM) atau dengan kata lain menggunakan simulasi komputer untuk menganalisa distribusi tegangan. Material yang dipakai pada penelitian ini terdiri dari *fiberglass composite* dan *aluminium alloy* (komersial) seperti yang bisa dilihat pada Gambar 1. *Aluminium alloy* diasumsikan sebagai *bilinear isotropic material*. Properti material aluminium terangkum pada Tabel 1. *Fiberglass composite* diasumsikan sebagai material orthotropic dengan material properties yang ditujukan

oleh Tabel 2. Tabel 3 menunjukkan properti interaksi antara Aluminium dan fiberglass composite. Metode penggabungan serat dan aluminium diasumsikan menggunakan *adhesive join* dengan bahan *epoxy*.

Tabel 1: *Material Properties Aluminium*

Property	Value
Modulus of elasticity (GPa)	68
Yield stress (MPa)	85
Ultimate stress (MPa)	105
Poisson's ratio	0.33
Density (kg/m ³)	2780

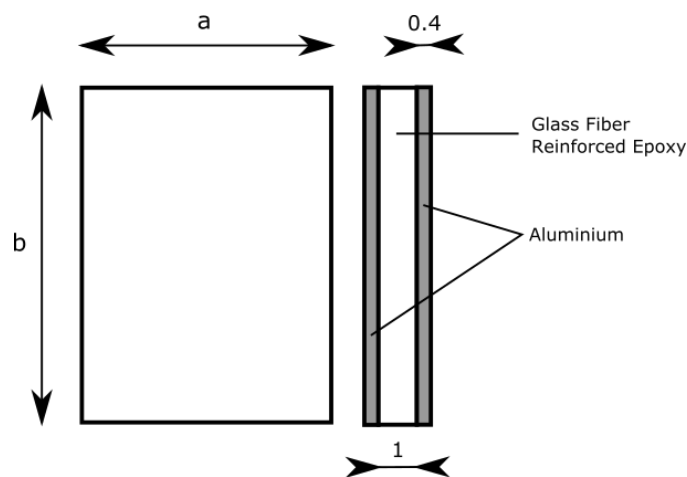
Tabel 2: *Material Properties Glass Fibre Reinforced Epoxy*

Property	Value
Density (kg/m ³)	2200
Shear strength	
Transvers (MPa)	3.65
Longitudinal (MPa)	3.65
Composite strength	
Transvers (MPa)	12
Longitudinal (MPa)	12
Tensile strength	
Transvers (MPa)	12
Longitudinal (MPa)	12
Tensile Modulus (GPa)	8

Tabel 3: *Contact Interaction Properties*

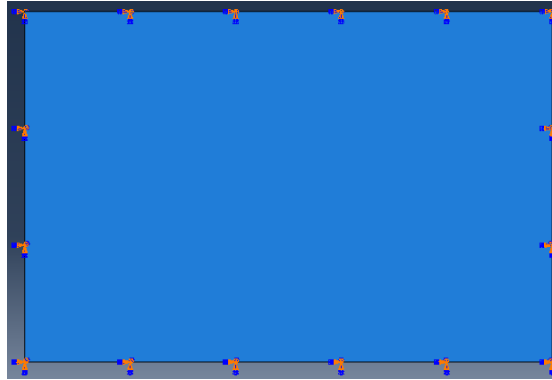
Property	Value
Contact Stiffness (GPa)	10 ³
Damage Property	
Normal Only (MPa)	1.2
Shear-1 Only	3.65
Shear-2 Only	3.65
Thickness (mm)	0.05

Permodelan geometri benda kerja adalah sebagai berikut dengan variasi perbandingan sisinya yaitu a/b= 1.5, 2, dan 2.5:



Gambar 1: Pemodelan Geometri Benda Uji (dalam satuan mm).

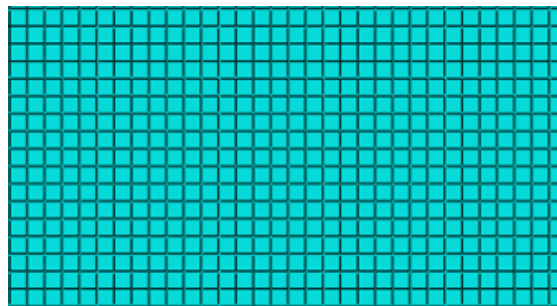
Dalam penelitian ini tumpuan batas yang digunakan adalah tipe tumpuan jepit dan tumpuan jepit tersebut ditempatkan disekeliling objek penelitian seperti pada Gambar 2



Gambar 2: Pemodelan tumpuan dijepit pada sekelilingnya.

Meshing adalah proses pembagian geometri benda menjadi bagian-bagian kecil dalam metode elemen hingga. Tujuan dari pembagian geometri tersebut adalah mempermudah proses analisa, tetapi hal tersebut juga berdampak pada bertambahnya durasi proses analisa apabila elemen semakin banyak. Pada setiap elemen tersusun titik yang disebut dengan node yang gunanya sebagai penyambung dari tiap elemen-elemen. Semakin banyak node maka ukuran elemen akan semakin kecil pula, tetapi juga dapat meningkatkan akurasi hasil analisis.

Dalam penelitian kali ini ukuran dan bentuk mesh sama rata, hal ini dapat dilihat dari geometri specimen yang berbentuk segi empat seperti pada Gambar 1. Berikut ini adalah detail dari bentuk dan ukuran *mesh* pada Gambar 3.

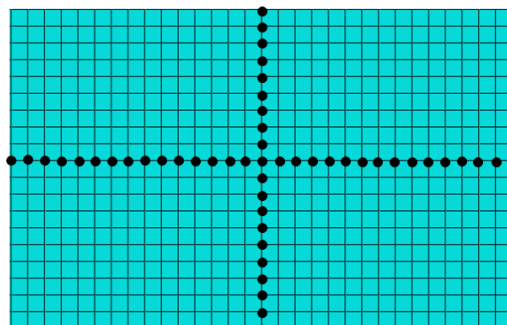


Gambar 3: *Meshing*

Variabel penelitian yang ditentukan ada tiga, yaitu variabel bebas, terikat dan control. Variabel bebas adalah variabel yang dapat ditentukan sendiri oleh peneliti agar fenomena sebab akibat yang terjadi antara variabel dapat terpantau dan variabel bebas ini tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Variabel bebas pada penelitian ini adalah rasio perbandingan sisi adalah 1,5, 2, dan 2,5. Dan shape mode mode getaran 1 sampai 10.

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung oleh nilai variabel lainnya. Variabel terikat pada penelitian ini ialah distribusi tegangan di tiap rentang dari shape mode dan tegangan yang terdapat di keseluruhan pelat.

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya ditentukan konstan oleh peneliti, agar mendapatkan hasil yang akurat. Variabel terkontrol pada penelitian ini berupa aluminium yang digunakan adalah aluminium alloy dengan ketebalan 0,4 mm, ketebalan fiberglass-nya 1 mm, arah orientasi serat tiap 1 mm $0^{\circ}/90^{\circ}$, dan luas efektif dari pelat adalah 10 000 mm².



Gambar 4: Pengambilan data di setiap titik dalam horizontal dan vertical

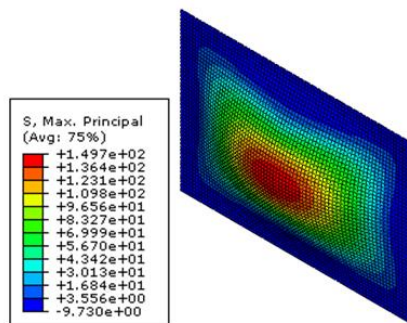
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan *software* berbasis *Finite Element Method* dengan pemodelan *fiber metal laminates* dengan bentuk pelat dan menggunakan rasio panjang sisi sebagai variasi. Variasi yang digunakan pada penelitian ini ada 3 yang pertama rasio sisi 1.5, 2, dan 2.5. Pada penelitian ini menggunakan mode 1 - 10 yaitu mode dengan nilai natural frekuensi tertinggi. Data yang diamati berupa tegangan pada sumbu Y. Ada 3 permukaan yang diamati pada penelitian ini yaitu *outer aluminium*, *inner aluminium* dan *fiberglass composite*. Pengambilan data tegangan diambil dari node dari tengah atas pelat dan dari pinggir tengah pelat. Pengamatan dilakukan dengan nilai tegangan yang dibuktikan dengan kontur fiber metal laminates setelah pembebanan.

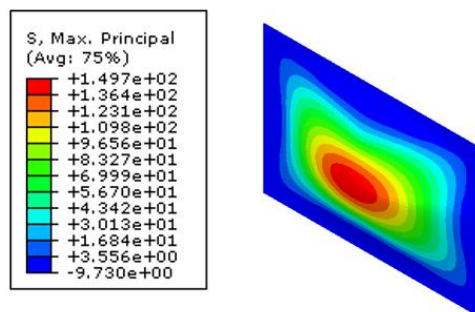
Tabel 4: Natural frekuensi terhadap *shape mode*

Mode	1,5	2	2,5
1	55,2	65,6	78,1
2	91,4	89,2	94,7
3	131,1	131,4	125,7
4	151,8	167,9	171,4
5	162,8	189,3	206,3
6	218,0	191,5	222,1
7	234,3	227,0	231,2
8	246,1	268,1	250,0
9	275,7	281,9	291,0
10	296,3	321,1	304,2

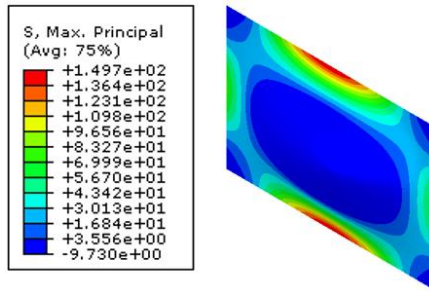
Kontur distribusi tegangan pada variasi rasio sisi dapat dilihat pada Gambar 5-8.



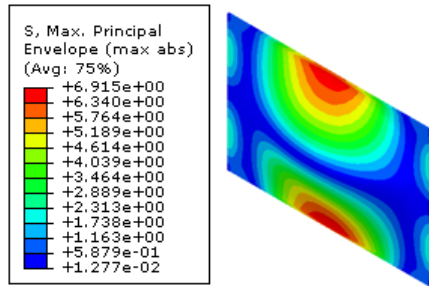
Gambar 5. Kontur pada FMLs di *outer aluminium* dengan Rasio sisi 1.5 pada *shape mode* 1.



Gambar 6: Kontur pada FMLs di *inner aluminium* dengan Rasio sisi 1.5 pada *shape mode* 1

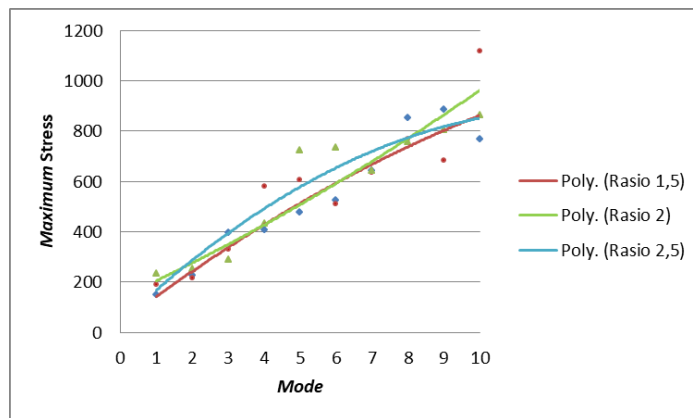


Gambar 7: Kontur pada FMLs di inner aluminium dengan Rasio sisi 1.5 pada shape mode 1.



Gambar 8: Kontur pada FMLs di fibreglass dengan Rasio sisi 1.5 pada mode shape mode 1.

Dapat dilihat pada Gambar 5-8 menunjukkan warna dan bentuk defleksi yang berbeda-beda. Akan tetapi warna yang terdapat dari penyebaran tegangannya tidak dapat dijadikan acuan apabila dilihat menggunakan *S, Max. Principal*. Distribusi tegangan dan natural frekuensi dipengaruhi oleh *boundary condition* sehingga acuan yang paling tepat adalah dari lendutan pada setiap pelat. Tegangan maksimum pada daerah *outer aluminium* di daerah defleksi terbesar pada tiap variasi ditunjukkan pada Gambar 9 yang juga diringkas pada Tabel 5.



Gambar 9. Hubungan shape mode Terhadap Maximum Stress Pada Outer Aluminium

Tabel 5 Nilai tegangan di bagian outer aluminium

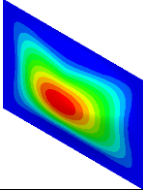
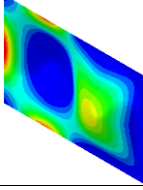
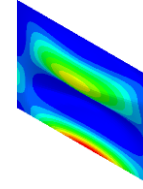
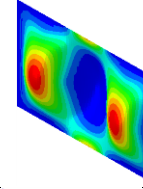
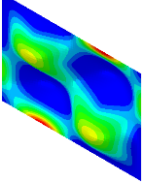
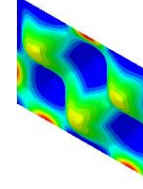
Mode	1,5	2	2,5
1	150,18	190,94	233,96
2	226,08	215,07	252,21
3	443,57	329,86	289,60
4	407,41	581,89	434,51
5	476,16	605,52	723,86
6	526,86	508,99	733,94
7	642,30	635,94	642,58
8	853,27	768,02	758,80
9	884,02	684,62	804,32
10	737,13	1118,69	823,92

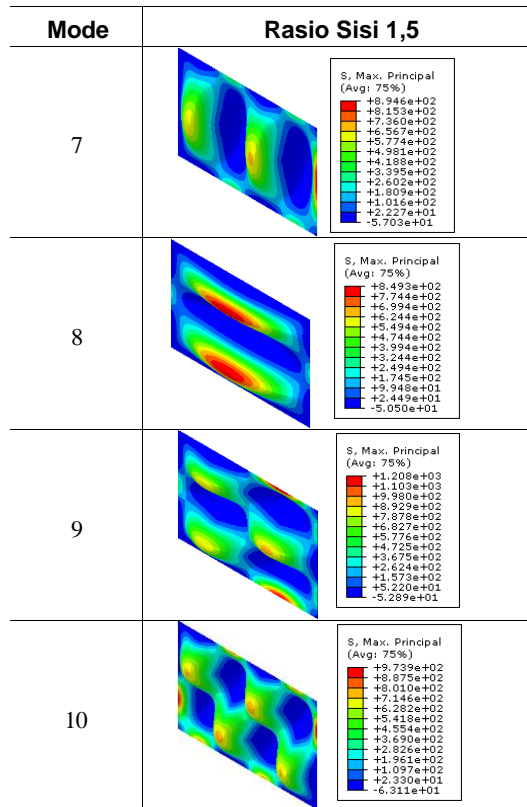
Gambar 9 menunjukkan bahwa semakin meningkatnya *shape mode* mengakibatkan nilai tegangan maksimumnya juga ikut meningkat, hal ini dikarenakan pada setiap *shape mode* menghasilkan natural frekuensi yang nilainya juga meningkat. Hal ini dibuktikan oleh rumus yang terdapat di Leissa bahwa frekuensi natural adalah frekuensi dimana suatu struktur cenderung bergetar secara natural jika struktur itu mengalami dislokasi. Karena semakin tinggi mode pada *shape mode* mengakibatkan semakin banyak bagian pelat yang terkena getaran dan menghasilkan dislokasi yang berbeda-beda.

Tegangan pada setiap mode tidak dapat dibandingkan, karena setiap mode memiliki bentuk atau pola deformasi yang berbeda. Akan tetapi, ada mode dengan nilai tegangan dan nilai natural frekuensi yang nilainya mirip atau bahkan cenderung sama. Hal ini dikarenakan mode tersebut memiliki bentuk yang mirip tetapi berbeda arahnya. Kemudian dapat dilihat bahwa yang memiliki nilai tertinggi adalah pada variasi 2.5 kemudian disusul oleh variasi 2, dan terakhir variasi 1.5 hal ini juga sesuai karena semakin panjang suatu pelat akan mengakibatkan lebih banyak lagi bagian material yang terkena getaran.

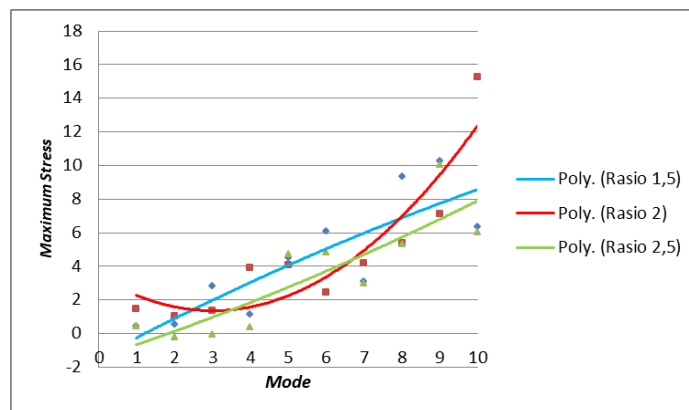
Berikut ini adalah kontur dari tiap mode *shape mode* pada rasio sisi 1,5 pada Tabel 5

Tabel 6 Kontur pada benda kerja dengan rasio sisi 1,5 di *outer aluminium*

Mode	Rasio Sisi 1,5
1	 <p>S, Max. Principal (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> +1.497e+02 +1.364e+02 +1.231e+02 +1.098e+02 +9.65e+01 +8.327e+01 +6.999e+01 +5.670e+01 +4.342e+01 +3.013e+01 +1.684e+01 +3.556e+00 -9.798e+00
2	 <p>S, Max. Principal (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> +3.126e+02 +2.849e+02 +2.573e+02 +2.297e+02 +2.020e+02 +1.744e+02 +1.467e+02 +1.191e+02 +9.144e+01 +6.380e+01 +3.616e+01 +8.515e+00 -1.913e+01
3	 <p>S, Max. Principal (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> +6.224e+02 +5.682e+02 +5.141e+02 +4.600e+02 +4.059e+02 +3.517e+02 +2.976e+02 +2.435e+02 +1.894e+02 +1.352e+02 +8.110e+01 +2.697e+01 -2.716e+01
4	 <p>S, Max. Principal (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> +4.053e+02 +3.686e+02 +3.319e+02 +2.951e+02 +2.583e+02 +2.216e+02 +1.848e+02 +1.481e+02 +1.114e+02 +7.462e+01 +3.788e+01 +1.137e+00 -3.561e+01
5	 <p>S, Max. Principal (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> +6.690e+02 +6.108e+02 +5.526e+02 +4.944e+02 +4.362e+02 +3.780e+02 +3.198e+02 +2.616e+02 +2.033e+02 +1.451e+02 +8.632e+01 +2.872e+01 -2.949e+01
6	 <p>S, Max. Principal (Avg: 75%)</p> <ul style="list-style-type: none"> +7.245e+02 +6.607e+02 +5.969e+02 +5.331e+02 +4.693e+02 +4.054e+02 +3.415e+02 +2.778e+02 +2.140e+02 +1.502e+02 +8.638e+01 +2.258e+01 -4.123e+01



Tegangan maksimum pada daerah *inner aluminium* di daerah defleksi terbesar pada tiap variasi ditunjukkan pada Gambar 10 yang juga diringkas pada Tabel 7.



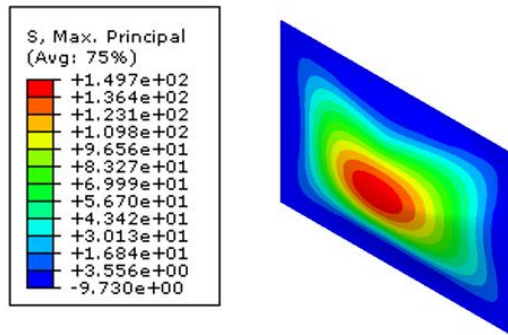
Gambar 10: Grafik Hubungan *shape mode* Terhadap *Maximum Stress* Pada *Inner aluminium*.

Tabel 7. Nilai tegangan maksimum pada bagian *inner aluminium*

Mode	1,5	2	2,5
1	0,35824	0,181696	0,358636
2	0,463589	0,245601	-0,256
3	2,75638	0,463297	-0,1234
4	0,986735	3,93553	0,307096
5	4,42969	4,04957	4,64934
6	6,05239	2,42972	4,77669
7	3,04293	4,15893	2,19651
8	9,27722	5,37519	5,2419
9	10,1848	4,18869	9,989
10	6,28627	15,2413	5,24091

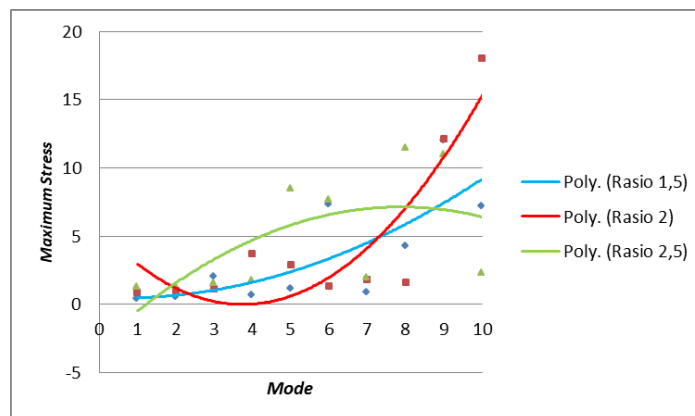
Gambar 10 merupakan interpretasi dari hubungan antara *shape mode* dan tegangan maksimum pada *inner aluminium*. Tegangan yang terjadi di bagian *inner aluminium* jauh lebih kecil dibandingkan oleh *outer aluminium*. Fenomena ini terjadi karena tegangan yang terjadi telah tereduksi akibat *fiberglass composite* yang memiliki sifat material yang lebih kaku dibandingkan *inner aluminium*.

Pada grafik dapat dilihat adanya nilai yang menurut akibatnya adanya nilai yang cenderung kecil yang mendekati nol dan bahkan terdapat nilai yang minus pada mode 2 dan mode 3. Hal ini diakibatkan arah di pola deformasi yang terdapat pada mode tersebut. Gambar 11 menunjukkan kontur pada *inner aluminium* pada mode 1.



Gambar 11: Kontur pada FMLs di *inner aluminium* dengan Rasio sisi 1.5 pada *shape mode* 1.

Tegangan maksimum pada daerah *fiberglass* di daerah defleksi terbesar pada tiap variasi ditunjukkan pada Gambar 12 yang juga diringkas pada Tabel 8.



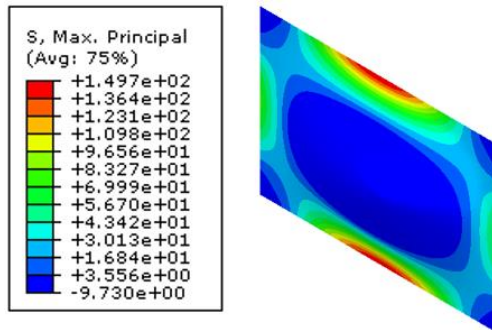
Gambar 12: Hubungan *Shape Mode* Terhadap *Maximum Stress* Pada *Fiberglass*.

Tabel 8. Nilai tegangan maksimum pada bagian *fiberglass*

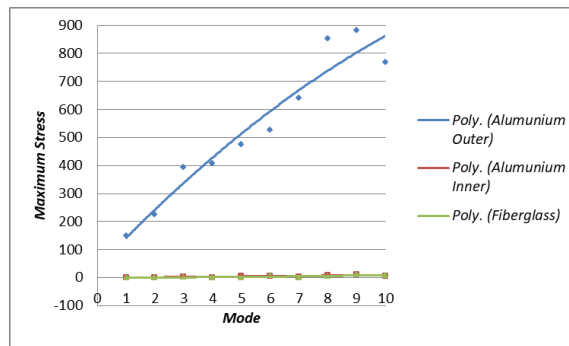
Mode	1,5	2	2,5
1	0,401	0,848	1,287
2	0,523	0,959	1,396
3	2,044	1,118	1,555
4	0,720	3,705	1,763
5	1,134	2,865	8,470
6	1,319	1,308	7,672
7	0,897	1,791	2,010
8	4,275	1,872	11,476
9	7,238	12,095	11,018
10	12,013	18,004	22,299

Gambar 12 merupakan hubungan antara *shape mode* dan tegangan maksimum pada *fiberglass composite*. Tegangan yang terjadi pada *fiberglass composite* merupakan tegangan yang paling kecil nilainya

dibandingkan tegangan dari material lainnya, hal ini diakibatkan fungsi *fiberglass composite* adalah untuk mereduksi getaran dan tegangan yang terjadi pada spesimen. Rasio sisi 2.5 memiliki tegangan yang lebih tinggi dibandingkan variasi 2 dan variasi 1.5. Fenomena ini dapat dibuktikan dengan persamaan (1) bahwa semakin tinggi rasio sisi (a/b) maka material akan semakin kaku. Sehingga nilai tegangan yang diterima berbeda. Berikut ini adalah kontur pada *fiber-glass* pada mode 1 dapat dilihat pada Gambar 13 dibawah



Gambar 13: Kontur pada FMLs di *fibreglass* dengan Rasio sisi 1.5 pada mode *shape mode 1*.

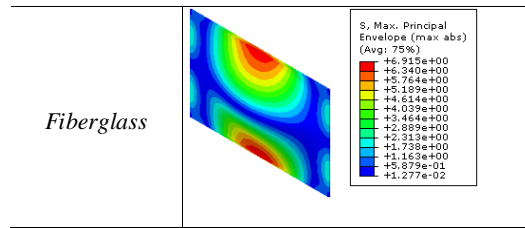


Gambar 14: Grafik Hubungan *Shape Mode* Terhadap *Maximum Stress* Pada setiap material di variasi 1,5

Gambar 14 menunjukkan hasil interpretasi antara *shape mode* dan tegangan maksimum. Tegangan tertinggi terjadi di permukaan aluminium pada bagian luar. Hal ini dikarenakan komposit diberikan getaran pada sisi aluminium yang ada di luar, sedangkan defleksi pada *fiberglass composite* tertahan oleh *outer aluminium* dan defleksi pada *inner aluminium* tertahan oleh *outer aluminium* dan *fiberglass composite*. Tegangan yang terdapat pada *fiberglass composite* menyusul setelah *outer aluminium* dan terakhir adalah *inner aluminium*. Berikut ini adalah kontur pada tiap material pada mode 1 dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Kontur pada tiap material di mode 1 pada variasi Rasio sisi 1.5

Mode	1.5
Outer Aluminium	
Inner Aluminium	



4. KESIMPULAN

Dari penelitian pengaruh *shape mode* dan rasio sisi terhadap distribusi tegangan pada *fiber metal laminates* dapat disimpulkan bahwa distribusi tegangan pada pelat diindikasikan dengan warna dan tingginya dislokasi. Semakin meningkatnya *shape mode* maka distribusinya juga akan semakin merata. Selain itu, semakin tinggi nilai *aspect ratio* akan menghasilkan nilai distribusi tegangan yang semakin tinggi pula. Distribusi tegangan yang paling tinggi terdapat pada *outer aluminium*, *inner aluminium*, dan terakhir *fiberglass*. Nilai dislokasi akan semakin tinggi seiring meningkatnya *shape mode*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] GIBSON, R.F., (1994). *Principles of Composite Material Mechanics*. United States of America: McGraw-Hill.
- [2] ASKELAND, DONALD R., PRADEEP P. FULAY, and WENDELIN J. WRIGHT. (2010). *The science and engineering of materials 6th edition*. Boston: Cengage Learning.
- [3] LANGDON G.S. (2015). *The blast response of composite and fibre-metal laminate materials used in aerospace applications* United Arab Emirates: Khalifa University of Science.
- [4] HEIMBS S. (2013). *Dynamic testing and modelling of composite fuselage frames and fasteners for aircraft crash simulations*: Germany: Kaiserslautern University of Technology
- [5] VLOT A, GUNNINK JW. *Fibre metal laminates, an introduction*. Springer Netherlands; 2001.
- [6] SINMAZÇELİK T, AVCU E, BORA MUSTAFA ÖZGÜR, et al. A review, fibre metal laminates, background, bonding types and applied test methods. *Mater Des* 2011; 32(7):3671–85.
- [7] SADIGHI M, ALDERLIESTEN RC, BENEDICTUS R. Impact resistance of fiber-metal laminates, a review. *Int J Impact Eng* 2012; 49:77–90.
- [8] VOGELANG LB, Vlot A. Development of fibre metal laminates for advance. *J Mater Process Technol* 2000; 103 (1):1–5.
- [9] BOTELHO EC, CAMPOS AN, BARROS ED, et al. Damping behavior of continuous fiber/metal composite materials by the free vibration method. *Compos B Eng* 2006; 37 (2–3):255–63.
- [10] ZHUO XU, ZHI-JIANG GAO, SI-QI ZHAO, YONG-FENG ZHANG, BANG-CHUN WEN. (2020). A nonlinear vibration model of fiber metal laminated thin plate with amplitude dependent property. *Applied Acoustics* 164 107268.
- [11] CHADRASEKAR et al. (2018). “Fibre metal laminate” *BioResources* 13, 5725-5739.
- [12] GUOQING W, PAN Y, ZHANG Z, et al. (2016). Research progress of ultra-light fiber metal laminates. *Aeronaut Manuf Technology*.
- [13] SINMAZÇELİK T., AVCU E., BORA M.O., and ÇOBAN O. (2011). *A Review: Fibre Metal Laminates, Background, Bonding Types and Applied Test Methods*. Turkey: Kocaeli University
- [14] PRASAD, E.V., and SAHU, S.K. (2017). *Vibration Analysis of Woven Fiber Metal Laminated Plates - Experimental and Numerical Studies*. Iran: Tarbiat Modares University.
- [15] YANG, N., CHEN, L., YI, H., and LIU, Y. (2016). *A unified solution for vibration analysis of plates with general structural stress distributions* China: Society of Naval Architect of Korea.
- [16] LEISSA, ARTHUR W. (1969). *The vibration of plates*. Washington, D.C.: National Aeronautics and Space Administration.