

## Analisis Kegagalan Struktur *Stiffened Panels* Melengkung Akibat Beban Kompresi Menggunakan Metode Elemen Hingga

I Gusti Ngurah Sudira<sup>\*1</sup>, Arwido Brilliano Baskara Adi<sup>2</sup>, Devi M. Gunara<sup>3 1,2,3</sup> Program Studi Teknik Penerbangan, Fakultas Teknik, Universitas Nurtanio Bandung Email: [sudiraigh@yahoo.com](mailto:sudiraigh@yahoo.com)

### ABSTRAK

Struktur ber dinding tipis merupakan ciri utama dalam struktur pesawat terbang. Struktur ber dinding tipis dan melengkung banyak diterapkan pada sayap, *fuselage*, dan ekor pesawat terbang. Struktur ber dinding tipis biasanya terdiri dari kulit sebagai kom- ponen utama penerima beban yang dikenal sebagai struktur *monocoque*. Untuk menghindari kulit yang tebal, mengatasi kelemahan struktur akibat adanya lubang dan untuk memperkuat kulit menerima beban yang besar, penguat diberikan pada kulit se- hingga struktur *monocoque* berubah menjadi semi *monocoque*. Panel kulit yang diberi penguat biasa disebut *stiffened panel*. *Stiffened panel* dapat mengalami kegagalan material jika tegangan yang terjadi lebih be- sar dari tegangan yang diijinkan oleh material struktur tersebut. Selain kegagalan mate- rial *stiffened panel* juga dapat mengalami kegagalan bentuk karena faktor ketidakstabi- lan struktur.

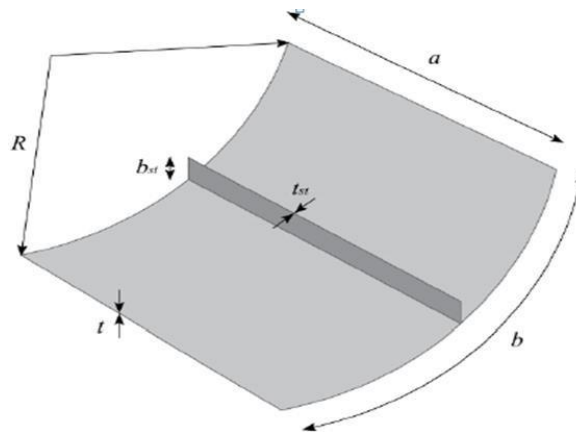
Dalam penelitian ini dilakukan analisis statis dan *buckling* untuk menentukan status kegagalan struktur *stiffened panel* yang datar dan melengkung. Beberapa variasi konfig- urasi *stiffened panel* yang dianalisis yaitu panel pelat datar, panel dengan variasi radius kurvatur kulit, variasi beban dan variasi ketebalan kulit - penguat. *Stiffened panel* menggunakan material *aluminium alloy 7075-T6* yang diberi beban tekan 10000 N dengan kondisi batas *all simply supported*. Analisis statis dan *buckling* dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan perangkat lunak *MSC PATRAN/NASTRAN*. Nilai *margin of safety* digunakan untuk menentukan status kegaga- lan material dan nilai *factor buckling* digunakan untuk menentukan status kegagalan bentuk struktur.

Hasil penelitian tentang struktur *stiffened panels* ini dinyatakan aman dari segi analisis statis tetapi gagal dari segi analisis *buckling*. Makin kecil radius kelengkungan *stiffened panels*, makin tahan terhadap beban kompresi. Beban yang semakin besar menyebabkan deformasi maksimum makin besar dan faktor *buckling* makin kecil. Makin tebal kulit dan penguat *stiffened panels*, makin aman struktur tersebut dari aspek kegagalan. *Stiff- ened panels* pelat datar dinyatakan aman berdasarkan analysis static tetapi tidak aman berdasarkan analisis *buckling*

**Kata kunci:** Kegagalan, Radius, *Stiffened Panel*, Statis, *Buckling*

### 1. PENDAHULUAN

Latar Belakang: Kelengkungan parabola memiliki efek penguatan yang signifikan pada kekuatan tekuk *stiffened panel*. Besarnya efek tersebut bergantung pada pa- rameter dimensi pelat dan penguat [Khedmati, 2010]. Pada Gambar 1 ditunjukkan parameter kurvatur struktur *stiffened panel*, dimana tegangan tekuk kritis bergan- tung pada kelengkungan panel untuk panel dengan aspek rasio yang berbeda [Pic- ulin, 2017].

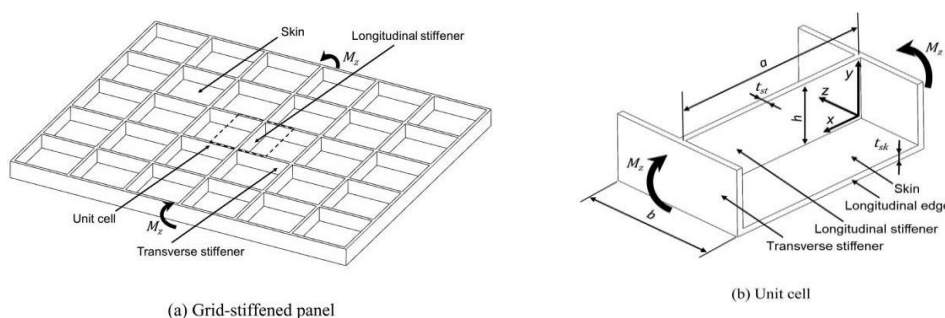


**Gambar 1.** Geometri *curvature parameter* pelat melengkung [Piculin, 2017] Untuk struktur *stiffened panel* dengan beban tekan, jarak penguat dan penampang penguat memainkan peran utama dalam desain yang efisien ditinjau dari segi berat. Jarak yang terlalu kecil akan meningkatkan jumlah penguat yang menjadi masalah dalam fabrikasi tanpa banyak manfaat dalam hal pengurangan berat [Arunkumar, 2012].

Analisis tiga parameter desain *stiffened panel* lengkung, yaitu radius panel, ketebalan penguat dan jarak antara dua penguat yang berurutan menunjukkan bahwa ketebalan penguat menunjukkan beban tekuk tertinggi dibandingkan parameter lainnya [Ganesh, 2017].

Kegagalan pada struktur dapat berupa berbagai jenis, yaitu: *creep*, kelelahan (*fatigue*), tegangan bolak-balik dan berlebihan, lentur, dan tekuk. Di antara semua jenis tersebut, tekuk merupakan kegagalan yang lebih parah dan bersifat katastropik yang terjadi pada struktur. Hal ini bergantung pada kekakuan material, bukan pada kekuatannya [Sonawane, 2016].

*Local buckling* merupakan mode kegagalan penting yang perlu dipertimbangkan, khususnya dalam desain elemen tekan struktural. *Local buckling* diidentifikasi ketika sebagian bentuk struktural (biasanya web atau *flange*) mengalami defleksi pada area pendek. Efek *local buckling* lebih parah dengan rasio lebar terhadap ketebalan ( $b/t$ ) yang lebih besar [Shepherd, 2013]. Perubahan ketebalan pelat secara signifikan meningkatkan kekuatan dan energi yang dihasilkan selama tekuk pada *stiffened panel* [Prabowo, 2022]. Kekuatan tekuk *stiffened panel* komposit meningkat secara signifikan dengan peningkatan ketebalan lamina dan pengaruh kondisi batas terhadap kekuatan tekuk bervariasi sesuai urutan susunan lamina [Chen, 2006]. Pengaruh dimensi geometris panel yang diperkuat kisi, multi penguat dan suhu terhadap respons tekuk di daerah elastis dan plastis menunjukkan bahwa penguat melintang (lihat Gambar 2), memberikan tegangan tekuk 13,9% lebih tinggi pada panel yang diperkuat kisi dibandingkan panel yang diperkuat bilah [Zhou, 2023].



**Gambar 2.** Skematik *grid-stiffened panel* yang dikenai lenturan [Zhou, 2023]

Analisis detail respon struktur akibat beban luar diperlukan untuk menjamin struktur tersebut aman dari kegagalan. Analisis statis dapat digunakan untuk menentukan apakah

struktur tersebut aman dari kegagalan material. Nilai *margin of safety* (MS) yang lebih besar dari nol menandakan struktur tersebut aman dari kegagalan material. Kegagalan bentuk akibat ketidakstabilan struktur dapat dianalisis melalui nilai *factor buckling*. Faktor *buckling* hasil analisis *buckling* dengan nilai lebih besar dari 1 menandakan struktur tersebut aman dari beban tekuk.

Analisis statis dan analisis buckling dapat dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga. Masukan properti material diperlukan dalam proses analisis struktur yang menggunakan metode elemen hingga. Rumusan masalah: Masalah yang diangkat dalam penelitian ini yaitu status kegagalan “material dan bentuk” struktur, pengaruh radius kurvatur panel kulit terhadap kegagalan struktur, pengaruh variasi beban terhadap kegagalan struktur, pengaruh ketebalan kulit dan penguat terhadap kegagalan struktur, perbedaan hasil analisis statis dan *buckling* terhadap struktur *stiffened panels*. Urgensi: Berdasarkan latar belakang tersebut di atas, dalam penelitian ini dilakukan analisis kegagalan struktur *stiffened panel* pelat datar dan melengkung. Beberapa konfigurasi *stiffened panel* yang dianalisis yaitu panel pelat datar, panel dengan variasi radius kurvatur kulit, variasi beban dan variasi ketebalan kulit serta penguat.

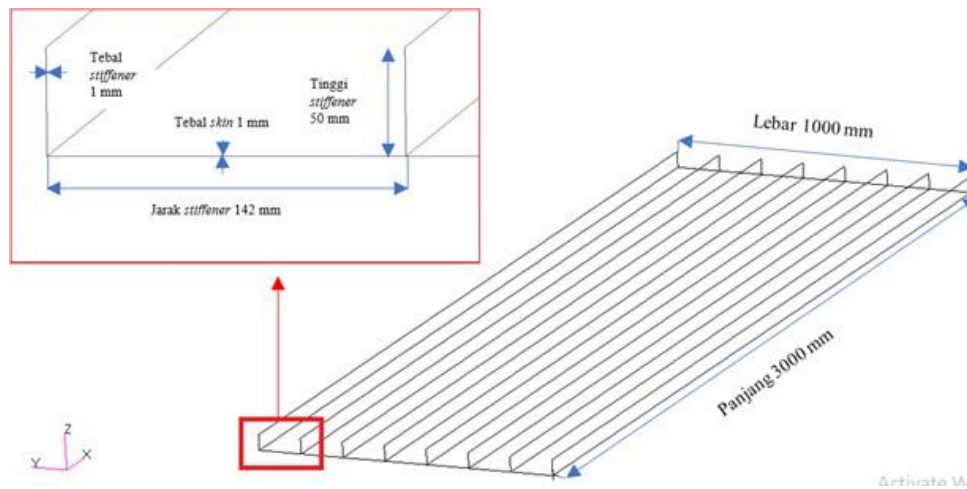
2. METODE

Metode Pemodelan struktur: Ada empat hal yang perlu diperhatikan dalam pemodelan struktur yaitu: geometri, beban, kondisi batas dan properti material. Geometri struktur yang dianalisis terdiri dari 3 jenis yaitu pertama *stiffened panel* pelat datar, kedua *stiffened panel* dengan radius kurvatur kulit, ketiga *stiffened panel* dengan variasi ketebalan *skin* dan *stiffener*. Pada Tabel 1 ditunjukkan dimensi geometri dari masing-masing struktur *stiffened panels*. Pada Gambar 3 ditunjukkan geometri *stiffened panel*.

Tabel 1. Dimensi geometri struktur *stiffened panels* (mm)

Struktur <i>stiffened panel</i>	Variasi	Geometri (mm)				
		Panjang	Lebar	Radius	Tinggi penguat	Jarak penguat
Pelat datar, tebal kulit dan penguat 1 mm	Tanpa variasi	3000	1000	-	50	142
Variasi radius kurvatur panel, kulit dan penguat, 1 mm	Radius 1	3000	1000	4000	50	142
	Radius 2	3000	1000	3000	50	142
	Radius 3	3000	1000	2000	50	142
Variasi beban, tebal kulit dan penguat, 1 mm	10000 N	3000	1000	4000	50	142
	20000 N	3000	1000	4000	50	142
	30000 N	3000	1000	4000	50	142
Variasi tebal kulit dan penguat	1 mm	3000	1000	4000	50	142
	2 mm	3000	1000	4000	50	142
	3 mm	3000	1000	4000	50	142

*Stiffened panel* menggunakan material *aluminium alloy 7075-T6* yang diberi beban tekan 10000 N dengan kondisi batas *all simply supported*. *All simply supported* merupakan kondisi batas dimana pada sisi tumpuan ditahan translasi pada x, y, dan z, tetapi rotasi dibebaskan sedangkan pada sisi-sisi penampang hanya ditahan translasi sumbu y dan z saja. Beban ditempatkan pada ujung panel struktur yang berlawanan dengan sisi tumpuan dengan metode *force*. Metode *force* adalah suatu metode penerapan beban pada titik ujung elemen agar beban yang diterapkan pada struktur dapat terbagi secara merata.



Gambar 3. Geometri stiffened panel pelat datar

Pada Tabel 2 ditunjukkan data properti material paduan aluminium 7075-T6.

Tabel 2. Properti material paduan aluminium 7075-T6 [ASM].

No	Properti	Material	Units
1	Young Modulus	71700	MPa
2	Shear Modulus	26900	MPa
3	Poisson's Ratio	0,33	-
4	Density	2,81	g/cm <sup>3</sup>

Distribusi gaya yang bekerja pada panel struktur dibagi menjadi dua kelompok yaitu gaya pada titik-titik bagian dalam dan luar sisi pembebanan panel. Gaya yang bekerja pada titik-titik bagian dalam panel ( $F_{dalam}$ ) ditentukan dengan persamaan 1. Gaya yang bekerja pada titik-titik terluar panel ( $F_{luar}$ ) ditentukan dengan persamaan 2.

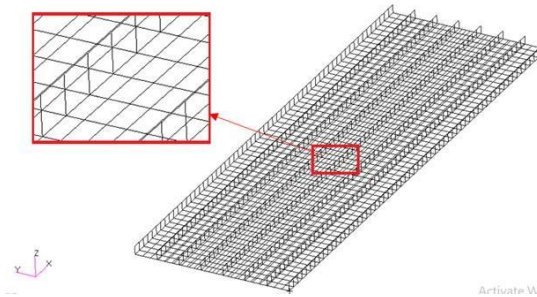
$$(1)$$

$$\frac{F_{luar}}{F_{dalam}} = \frac{F_{dalam}}{F_n - 1} = \frac{F_{total}}{F_n - 1} \tag{2}$$

Dimana  $F_{total}$  adalah gaya total yang diterima oleh struktur dan  $F_n$  adalah jumlah ti-tik yang akan menerima gaya total. Pembebanan diterapkan pada 8 titik dalam sisi beban *stiffened panel*. Dengan beban tekan sebesar 10000 N maka 6 titik bagian dalam diberi beban sebesar 1428,571 N dan 2 titik bagian luar diberi beban sebesar 714,286 N.

Meshing: Proses *meshing* yaitu membagi struktur menjadi elemen-elemen kecil yang dibutuhkan untuk proses analisis menggunakan perangkat lunak *MSC PATRAN/NASTRAN*. Semakin kecil/halus elemen yang dibuat, hasil yang diperoleh semakin teliti, namun harus dibayar dengan daya komputasi yang semakin besar.

Dalam proses *meshing*, jenis elemen yang digunakan adalah *quad4* sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 4. Setelah proses *meshing*, perlu dilakukan proses konvergensi untuk menentukan jumlah elemen minimum untuk menghasilkan respon struktur yang akurat.



**Gambar 4.** Hasil proses *meshing stiffened panel* dengan elemen *quad4*

Simulasi numerik: Ada dua tipe solusi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *linear static* dan *buckling solution*. MSC PATRAN digunakan untuk mempersiapkan data masukan dan menampilkan hasil analisis MSC NASTRAN, yang divisualisasikan dalam bentuk gambar.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis statis: Semua variasi model struktur *stiffened panels* yaitu pelat datar, variasi radius dan variasi beban memiliki berat struktur yang sama yaitu 11,81 kg, sebagaimana terlihat pada Tabel 3. Hal ini dimaksudkan untuk melihat hasil analisis statis murni karena variabel yang sedang ditinjau tanpa dipengaruhi oleh perbedaan berat struktur. Deformasi maksimum semua radius yang ditinjau memiliki nilai lebih kecil dari pada pelat datar. Hal ini menandakan bahwa panel yang melengkung memiliki kekakuan yang lebih tinggi dari panel datar. Tegangan maksimum semua radius yang ditinjau memiliki nilai lebih besar dari pada pelat datar. Nilai tegangan maksimum ini justru menandakan bahwa panel melengkung lebih lemah dari panel datar. Begitu juga nilai margin of safety (MS) untuk panel pelat datar lebih besar dari panel melengkung dimana secara teori panel datar lebih lemah dari panel melengkung. Nilai tegangan maksimum dan MS yang tidak sesuai ini mengindikasikan bahwa ada potensi terjadinya *buckling* sehingga analisis statis tidak cukup akurat untuk menganalisis *stiffened panel* dalam kasus ini.

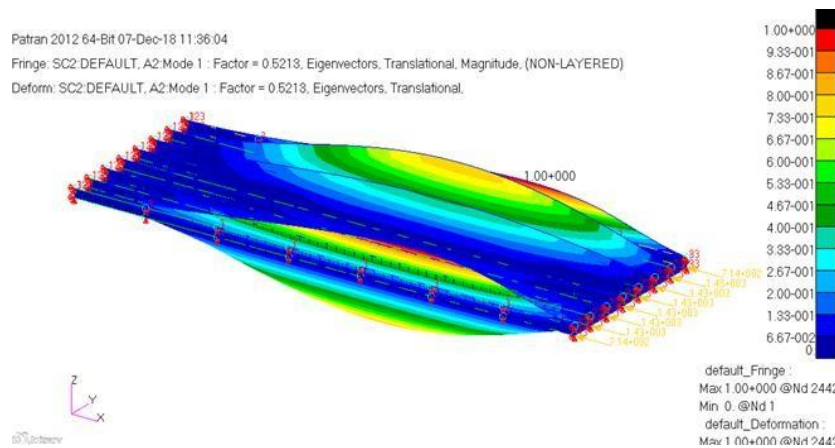
Dalam Tabel 3 juga dapat dilihat bahwa makin besar beban yang diberikan menghasilkan deformasi maksimum semakin besar, tegangan maksimum semakin besar dan MS yang semakin kecil. Kecenderungan nilai-nilai ini masih dapat diterima oleh dasar teori yang selama ini dipahami. Hal ini berarti bahwa peningkatan beban dapat menyebabkan struktur semakin lemah. Hal sebaliknya terjadi ketika kulit dan penguat tebalnya ditingkatkan. Makin tebal kulit dan penguat *stiffened panels* tersebut, deformasi maksimum semakin kecil, tegangan maksimum semakin kecil dan nilai MS semakin besar.

**Tabel 3.** Hasil perhitungan statis stiffened panel dengan seluruh konfigurasi stiffened panels

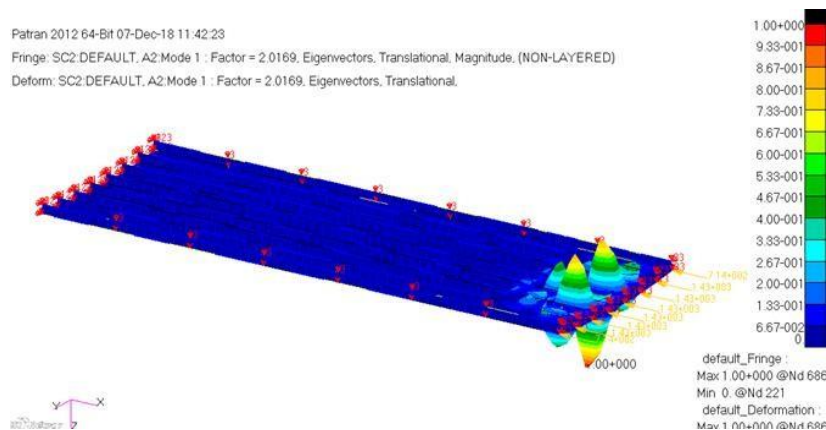
No	Konfigurasi Perhitungan Statis	Variasi	Deformasi Maksimum (mm)	Tegangan Maksimum (Mpa)	Margin of Safety (MS)	Berat (Kg)
1	Beban 10000 N, Tebal kulit dan penguat 1 mm	Pelat datar	1,33	24,6	19,45	11,81
2	Beban 10000 N, Tebal kulit dan penguat 1 mm	Radius 4000 mm	1,06	25,3	18,88	11,81
		Radius 3000 mm	0,647	25,6	18,65	11,81
		Radius 2000 mm	0,51	25,7	18,57	11,81
		Beban 10 000 N	1,06	25,3	18,65	11,81

3	Tebal kulit dan penguat 1 mm, Radius 4000 mm	Beban 20 000 N	2,12	50,6	8,94	11,81
		Beban 30 000 N	3,18	75,9	5,63	11,81
4	Beban 10000 N, Radius 4000 mm	kulit dan penguat 1 mm	1,06	25,3	18,65	11,81
		2 mm	0,511	12,5	39,24	23,61
		3 mm	0,294	8,34	59,31	35,42

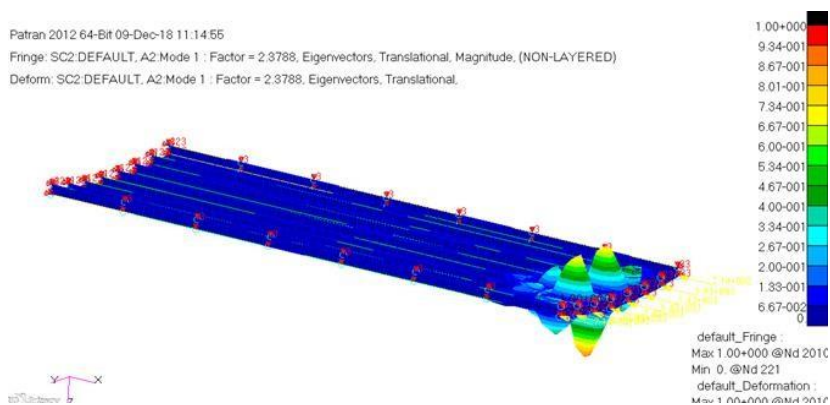
Hasil analisis *buckling*: Pada Gambar 5, 6, 7, dan 8 ditunjukkan fenomena *buckling* mode 1 dan nilai *factor buckling* untuk konfigurasi *stiffened panels* pelat datar dan melengkung. Semua konfigurasi yang dianalisis memiliki tebal kulit dan penguat 1 mm serta diberi beban 10000 N. Untuk *stiffened panel* pelat datar memiliki defor- masi yang lebih menyeluruh atau global dibandingkan dengan *stiffened panel* pelat melengkung. *Stiffened panel* melengkung mengalami perubahan bentuk struktur lo- kal di sekitar beban dan berlaku untuk seluruh radius kelengkungan panel struktur.



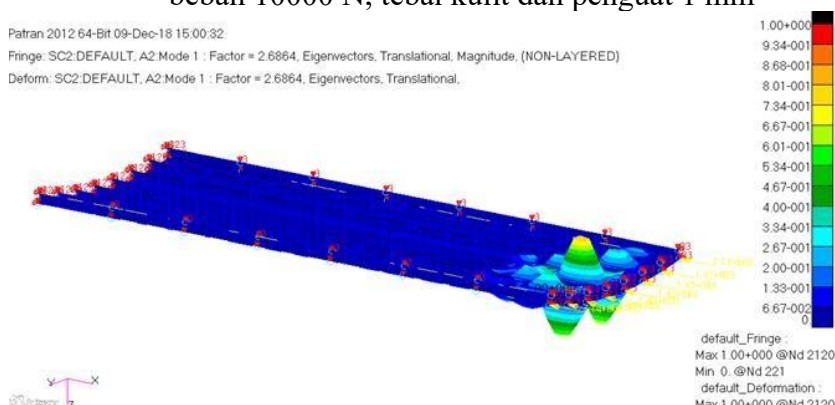
**Gambar 5.** Buckling mode stiffened panel pelat datar, beban 10000 N, tebal kulit dan penguat 1 mm



**Gambar 6.** Buckling mode stiffened panel melengkung dengan radius 4000 mm, beban 10000 N, tebal kulit dan penguat 1 mm



**Gambar 7.** Buckling mode stiffened panel melengkung dengan radius 3000 mm, beban 10000 N, tebal kulit dan penguat 1 mm



**Gambar 8.** Buckling mode stiffened panel melengkung dengan radius 2000 mm, beban 10000 N, tebal kulit dan penguat 1 mm

Pada Tabel 4 dapat dilihat hasil analisis *buckling* untuk seluruh konfigurasi *stiff-ened panel*. Konfigurasi *stiffened panel* pelat datar, variasi radius dan variasi beban memiliki tebal kulit dan penguat 1 mm serta memiliki berat yang sama yaitu 11,81 kg. Faktor *buckling* untuk pelat datar nilainya lebih kecil dari 1 yaitu 0,521, artinya *stiffened panel* pelat datar tersebut mengalami *buckling* ketika diberi beban 10000 N. Hal ini sesuai dengan hasil analisis statis dimana tidak mampu menangkap adanya fenomena tekuk pada *stiffened panel* yang menyebabkan hasilnya tidak konsisten antara nilai deformasi maksimum dan tegangan maksimum dibandingkan dengan pelat melengkung. Oleh karena itu analisis *buckling* yang dilakukan untuk *stiffened panel* pelat datar tersebut adalah langkah yang tepat untuk memperoleh hasil yang lebih akurat menyangkut analisis kegagalan struktur.

Faktor buckling *stiffened panel* melengkung untuk semua variasi radius menunjukkan nilai lebih besar dari 1. Hal ini menandakan bahwa *stiffened panel* melengkung aman dari fenomena *buckling*. Makin kecil radius kelengkungan *stiffened panel*, nilai faktor *buckling* dan beban kritis yang dihasilkan makin besar. Kecenderungan ini menandakan bahwa radius kelengkungan makin kecil menyebabkan *stiffened panel* makin tahan terhadap beban kompresi. Dengan demikian *stiffened panel* pelat datar yang lemah akibat beban kompresi dapat dibuat lebih tahan jika pelatnya dibuat melengkung.

Analisis *buckling* untuk konfigurasi variasi beban pada *stiffened panel* melengkung dengan radius 400 mm menunjukkan bahwa makin besar beban yang diberikan, faktor *buckling* yang dihasilkan makin kecil, sementara beban kritisnya sama. Hal ini menunjukkan bahwa hasil ini sesuai dengan teori *buckling* yaitu beban kritis suatu konfigurasi tidak dipengaruhi oleh variasi beban. Ini artinya, satu konfigurasi memiliki hanya satu beban kritis.

Disamping dengan cara melengkungkan *stiffened panel* untuk memperoleh struktur yang lebih tahan terhadap beban kompresi, penambahan tebal kulit dan penguat juga dapat dilakukan. Variasi ketebalan kulit dan penguat dapat mengubah nilai faktor *buckling* dan beban kritis *stiffened panel*. Makin tebal kulit dan penguat *stiffened panel*, nilai faktor *buckling* dan beban kritis nya semakin besar. Cara ini memiliki konsekwensi terjadinya peningkatan berat struktur yang biasanya menjadi perhatian penting jika *stiffened panel* tersebut diterapkan untuk struktur pesawat terbang.

**Tabel 4.** Hasil perhitungan buckling stiffened panel dengan seluruh konfigurasi *stiffened panels*

No	Konfigurasi Perhitungan Buckling	Variasi	Faktor <i>Buckling</i>	Beban kritis <i>Buckling</i> (N)	Berat (Kg)
1	Beban 10000 N, Tebal kulit dan penguat 1 mm	Pelat datar	0,521	5210	11,81
2	Beban 10000 N, Tebal kulit dan penguat 1 mm	Radius 4000 mm	2,016	20160	11,81
		Radius 3000 mm	2,378	23780	11,81
		Radius 2000 mm	2,686	26860	11,81
3	Tebal kulit dan penguat 1 mm, Radius 4000 mm	Beban 10 000 N	2,016	20160	11,81
		Beban 20 000 N	1,008	20160	11,81
		Beban 30 000 N	0,672	20160	11,81
4	Variasi tebal kulit dan penguat, Beban 10000 N, Radius 4000 mm	Tebal 1 mm	2,016	20 160	11,81
		Tebal 2 mm	11,525	115 250	23,61
		Tebal 3 mm	20,933	209 330	35,42

Dengan memperhatikan semua data hasil penelitian *stiffened panel* sebagaimana terlihat pada Gambar 5, 6, 7 dan 8 serta dalam Tabel 3 dan 4 dapat memberikan pelajaran penting kepada kita tentang aspek kegagalan struktur. Analisis statis yang dinyatakan aman dilihat dari analisis kegagalan material, dimana nilai MS lebih besar dari nol belum tentu aman dari segi stabilitas struktur. Analisis kegagalan struktur menggunakan analisis *buckling* hasilnya lebih akurat dibandingkan dengan analisis statis. Analisis *buckling* sudah memperhitungkan faktor perubahan bentuk struktur, faktor non-lineariti melampaui kemampuan analisis statis yang hanya mempertimbangkan perpindahan menggunakan persamaan aljabar linier.

**4. SIMPULAN**

Hasil penelitian tentang struktur *stiffened panels* ini dinyatakan aman dari segi analisis statis tetapi gagal dari segi analisis *buckling*. Struktur *stiffened panels* datar yang dibuat melengkung dapat mengubah struktur yang gagal menjadi aman. Makin kecil radius kelengkungan *stiffened panels*, makin tahan terhadap beban kompresi. Beban yang semakin besar dapat meningkatkan deformasi maksimum makin besar dan faktor *buckling* makin kecil yang menandakan struktur semakin tidak aman.

Makin tebal kulit dan penguat *stiffened panels*, makin aman struktur tersebut dari aspek kegagalan, yang ditandai dengan beban kritis yang semakin besar dan tegangan maksimum yang semakin kecil. Analisis statis memberikan hasil yang tidak konsisten dilihat dari parameter deformasi maksimum, tegangan maksimum dan MS. Konfigurasi *stiffened*

*panels* datar memberikan deformasi maksimum lebih besar dari panel melengkung tetapi nilai tegangan maksimum lebih kecil dan nilai  $MS$  nya lebih besar dari panel melengkung. Analisis *buckling* memberikan hasil yang konsisten dimana factor *buckling* dan beban kritis *stiffened panels* datar lebih kecil dari pada *stiffened panels* melengkung.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Arunkumar, K.N., Lohith, N., Ganesha, B.B. (2012). *Effect of Ribs and Stringer Spacings on the Weight of Aircraft Structure for Aluminum Material*. Departement of Aerospace Laboratory. India.
- ASM – Aerospace Specification Metals Inc., <https://asm.matweb.com/search/specifmaterial.asp?bassnum=ma7075t6>.
- Chen, N-Z. Soares, C.G. (2006). Buckling Analysis Of Stiffened Composite Panels. III European Conference on Computational Mechanics Solids, Structures and Coupled Problems in Engineering C.A. Mota Soares et.al. (eds.), Lisbon, Portugal, 5–8 June 2006.
- Ganesh, M. & Sunararaj, K. (2017). *Buckling Analysis of Stiffened Panel with Straight and Z - Shapped Stiffener*. Asian Journal of Research in Social Sciences and Humanities.
- Khedmati, M.R. & Edalat, P. (2010). *A Numerical Investigation Into the Effect of Parabolic Curvature on The Buckling Strength and Behaviour of Stiffened Plates under in-Plane Compression*. A Mirkabir University of Technology Iran.
- Piculin, S., Sinur F., Može P., (2017), Analysis Of Stiffened Curved Panels In Compression, A Preliminary Numerical Study For Experimental Tests, EUROSTEEL 2017, September 13–15, 2017, Copenhagen, Denmark.
- Prabowo, A.R. Ridwan R. Muttaqie, T. (2022). On the Resistance to Buckling Loads of Idealized Hull Structures: FE Analysis on Designed-Stiffened Plates, MDPI, *Designs* **2022**, 6, 46. <https://doi.org/10.3390/designs603004>, <https://www.mdpi.com/journal/designs>
- Shepherd, C.M. Ziemian, R.D. (2013). Elastic Compressive Strength of Aluminum Open Circular-Arc Sections, Proceedings of the Annual Stability Conference. Structural Stability Research Council, St. Louis, Missouri, April 16-20, 2013. Sonawane, A., (2016), Study of Round Central Hole in Buckling Analysis of Cross Ply Laminates, International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE), ISSN: 2349-2763, Issue 11, Volume 3 (November 2016), [www.ijirae.com](http://www.ijirae.com).
- Zhou, W. Shi, Z. Lin, J. (2023), Semi-analytical study of buckling response for grid-stiffened panels during creep age forming. *Thin-Walled Structures* 182 (2023) 110231, journal homepage: [www.elsevier.com/locate/tws](http://www.elsevier.com/locate/tws).