

# **PENERAPAN METODE TAGUCHI ROBUST DESIGN UNTUK OPTIMISASI PELAT KOMPOSIT BERLUBANG PADA PESAWAT LSU-05 NG**

## **APPLICATION OF TAGUCHI ROBUST DESIGN METHOD FOR OPTIMIZATION OF COMPOSITE PLATE WITH OPEN HOLE ON LSU-05 NG**

Abian Nurrohmad<sup>1\*</sup>, Virdan A Pratama<sup>2</sup>, Rizky Fitriansyah<sup>1</sup>, Agus Bayu Utama<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Teknologi Penerbangan, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Indonesia

<sup>2</sup>Universitas Nurtanio, Bandung, Indonesia

\*abian.nurrohmad@lapan.go.id

### **Abstrak**

Adanya lubang pada struktur seringkali menjadi permasalahan serius, karena dengan adanya lubang akan memicu terjadinya lonjakan konsentrasi tegangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimisasi struktur komposit berlubang pada pesawat LSU-05NG. Metode Elemen Hingga digunakan sebagai analisis untuk perhitungan konsentrasi tegangan. Adapun parameter desain yang digunakan diantaranya: diameter lubang, material, dan arah serat. Ketiga faktor tersebut dioptimisasi menggunakan metode Taguchi dengan fungsi objektif mendapatkan tegangan yang rendah (optimal). Dari hasil ANOVA didapat konfigurasi desain optimum adalah pelat berdiameter lubang 22 mm, material fiber karbon, dan arah serat 0/90, dengan nilai tegangan sebesar 287 kPa. Adapun masing-masing parameter desain mempunyai kontribusi terhadap kekuatan sebagai berikut: diameter lubang 8.59%; material fiber 9.10%; dan arah serat sebesar 68.36%.

Kata kunci: pelat berlubang, komposit, metode Taguchi, Metode Elemen Hingga

### **Abstract**

*The existence of holes in the structure is often a serious problem, because the presence of a hole will trigger a surge in high stress concentration. This study aims to optimize hole composite structures on the LSU-05NG aircraft. The Finite Element Method is used as an analysis for calculation of stress concentration. The design parameters used include: hole diameter, material, and fiber direction. These factors were optimized using the Taguchi method with the objective function of getting a low stress (optimal). From the ANOVA results obtained the optimum design configuration is a hole with diameter 22 mm, carbon fiber material, and fiber direction 0/90, with a stress value of 287 kPa. Each design parameter contributes to the following strengths: 8.59% hole diameter; fiber material 9.10%; and fiber direction of 68.36%*

*Keywords: plate with hole, composite, Taguchi method, finite element method*

## **1. PENDAHULUAN**

Penggunaan material komposit pada struktur wahana dirgantara semakin marak dan masif pada saat ini. Berbagai keunggulan yang dimiliki komposit sangat mendukung filosofi struktur pesawat terbang yaitu harus kuat tapi juga harus ringan. Salah satu aplikasi material komposit adalah pada struktur pesawat terbang tanpa awak. Alasan penggunaan material komposit selain sifatnya yang kuat dan ringan juga kemudahan dalam proses pembuatan. Salah satu masalah yang muncul pada pelat komposit pada pesawat terbang adalah adanya lubang untuk keperluan perkabelan atau pemasangan komponen lain. Keberadaan lubang pada pelat komposit ini dapat menurunkan kekuatan struktur komposit akibat diskontinuitas. Berbeda dengan struktur logam yang homogen, kekuatan pelat komposit berlubang dipengaruhi juga oleh arah serat dan material penyusunnya.

Studi mengenai lubang pada pelat komposit telah banyak dilakukan. Wong, dkk.[1] telah melakukan studi numerik mengenai pelat komposit CFRP dengan arah serat anti-simetrik, dimana respon kegagalan terjadi di area tab dan area tengah. Özaslan, dkk.[2] melakukan studi baik numerik maupun eksperimental pada pelat komposit dengan dua lubang yang berinteraksi. Dari studi tersebut disimpulkan bahwa kekuatan pelat komposit sangat dipengaruhi oleh adanya lubang. Salleh, dkk.[3] telah berhasil melakukan fabrikasi dan karakterisasi material komposit pelat berlubang dengan serat kenaf. Özaslan, dkk.[4] melakukan penelitian mengenai efek rasio W/D terhadap konsentrasi tegangan pada pelat komposit berlubang. Kesimpulan dari penelitian ini adalah nilai faktor konsentrasi tegangan bisa naik 15% dengan pengurangan rasio W/D dari 6 ke 3. Hartini[5] melakukan analisa elemen hingga untuk menghitung faktor konsentrasi tegangan pada pelat isotropik berlubang. Sidi & Wahyudi [6] menerapkan metode Taguchi *robust design* untuk mengoptimisasi kebulatan pada proses bubut CNC dengan variasi kecepatan potong, gerak pemakanan, dan kedalaman pemakanan. Al-shammari[7] melakukan studi pengaruh bentuk lubang terhadap karakteristik vibrasi pada pelat komposit. Djunaedi & Setiawan[8] melakukan karakterisasi pada material komposit untuk pesawat tanpa awak. Das Anto[9] telah melakukan kajian pengaruh jumlah dan arah lamina pada karakteristik tarik komposit hibrid.

Penelitian ini dilakukan untuk mencari kombinasi optimum pada pelat komposit berlubang. Ada 3 parameter yang dikaji yaitu material serat, arah serat, dan diameter lubang. Setiap parameter memiliki 3 level yang akan disusun dalam *orthogonal array*. Tabel *orthogonal array* ini menjadi dasar dalam proses optimisasi menggunakan metode *Taguchi robust design*.

Metode *Taguchi robust design* digunakan untuk melakukan optimisasi sebuah desain dengan single objective. Untuk mendapatkan desain yang diinginkan (maksimum atau minimum) dapat divariasikan dalam beberapa faktor/parameter dan dilakukan dalam beberapa level[10]. Hasil akhir dari metode Taguchi ini adalah didapatkan faktor mana yang paling berpengaruh dalam sebuah desain dan didapat pula opsi yang paling optimum dari beberapa parameter desain yang diajukan. Metode Taguchi *robust design* sangat cocok digunakan untuk mengurangi jumlah *running* (simulasi numerik) maupun spesimen (experimental) sehingga menghemat waktu dan biaya

Untuk menghitung kekuatan struktur pelat berlubang, digunakan metode elemen hingga. Software metode elemen hingga yang digunakan adalah ABAQUS. Dalam pengujiannya, objek di uji dengan uji tarik. Dimana uji tarik merupakan salah satu prosedur yang digunakan untuk mengkarakterisasi deformasi elastis dan plastis yang berhubungan dengan perilaku mekanik suatu material. Uji tarik tersebut dilakukan berdasarkan variasi faktor yang mempengaruhi objek tersebut. Tiap faktor memiliki level variasi yang berbeda, sehingga hasil dari pengujiannya beragam di setiap variasi. Hasil dari setiap variasi akan di kumpulkan dan di klasifikasi menggunakan metode Taguchi, supaya kita dapat mengetahui paduan yang akan menghasilkan model *robust* (optimal) untuk dijadikan pertimbangan pembuatan pelat komposit berlubang.

## 2. METODOLOGI

Simulasi numerik dilakukan pada pelat berlubang dengan dimensi yang seragam yakni panjang 160 mm dan lebar 50 mm, dimana memiliki ketebalan berdasarkan bahan material; E-Glass = 0.19 mm, Carbon = 0.27 mm, Kevlar = 0.18 mm. Terdapat 3 parameter yang divariasikan sebagaimana tertera di Tabel 1.

**Tabel 1. Data Faktor Variasi**

Parameter	Level 1	Level 2	Level 3
Diameter	22 mm	25 mm	28 mm

Material	E glass	Carbon	Kevlar
Arah Serat	(45/-45)4s	(0/90)4s	(0/90)(45/-45)4s

**Tabel 2. Data Properties Material**

	E Glass	Carbon	Kevlar
E1 (kPa)	45600	126000	76800
E2 (kPa)	16200	11000	5500
E3 (kPa)	16200	11000	5500
G12 (kPa)	5830	6600	2070
G13 (kPa)	5830	6600	2070
G23 (kPa)	5790	3930	1400
Nu	0.28	0.29	0.34

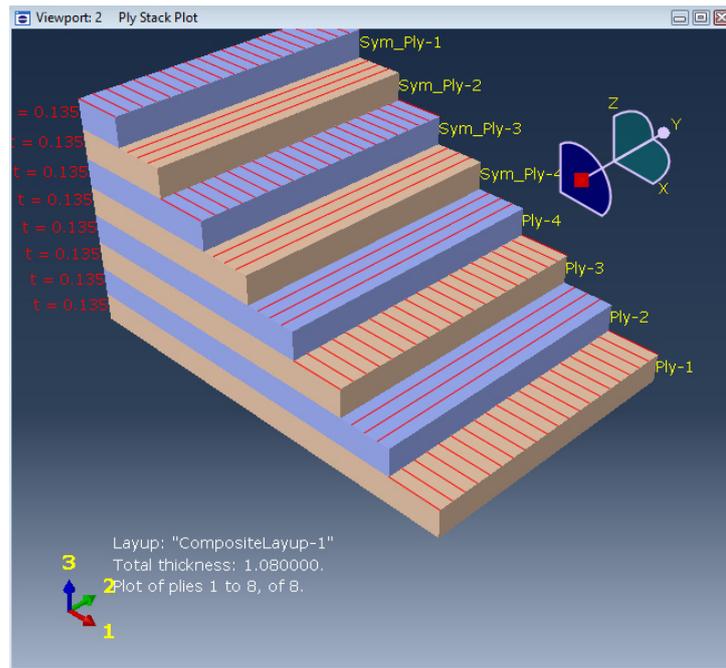
Sebagaimana tertera di Tabel 1, pada tiap parameter terdapat 3 level yang berbeda untuk dicari kombinasi mana yang paling optimum. Untuk itu diperlukan Taguchi *orthogonal array* L9 untuk proses optimisasi. Sebagaimana di Tabel 2. Bentuk susunan Taguchi *orthogonal array* dipengaruhi oleh jumlah faktor desain dan jumlah level yang didefinisikan pada tiap faktor. Pada kasus ini, terdapat 3 faktor desain yang berubah dalam 3 level, maka dengan cara konvensional memerlukan 33 atau 27 eksperimen. Sedangkan dengan Taguchi *orthogonal array* hanya perlu 9 eksperimen saja (Tabel 3), untuk memprediksi hasil optimum secara efektif dan efisien.

**Tabel 3. Orthogonal Array L9 dari Taguchi Method**

Run No.	Parameter		
	Diameter lubang	material	Arah serat
A	1	1	1
B	1	2	2
C	1	3	3
D	2	1	2
E	2	2	3
F	2	3	1
G	3	1	3
H	3	2	1
I	3	3	2

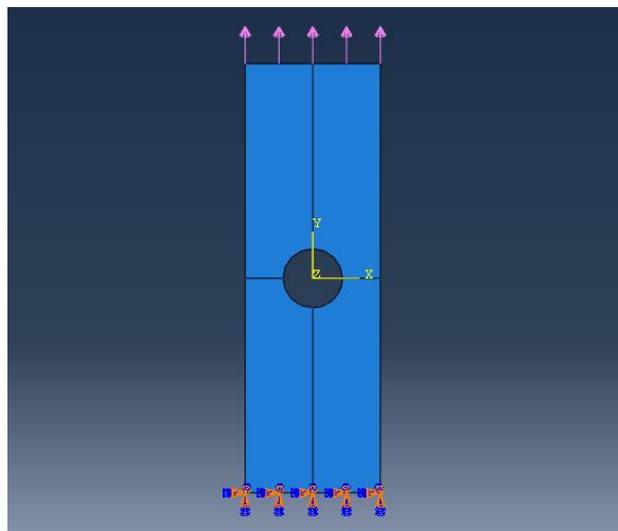
### Pemodelan Finite Element

Pemodelan dimulai dengan membuat geometri yang sudah ditentukan di awal. Di tengah pelat tersebut diberi lubang sesuai ukuran pada Tabel 1. Selanjutnya model uji diberi faktor kedua yaitu material sesuai dengan data berdasarkan Tabel 2. Selanjutnya mengatur arah serat sesuai parameter yang ditentukan di awal (Gambar 1). Arah serat sangat berpengaruh terhadap performa komposit.[8]



**Gambar 1. Arah Serat (0/90)<sub>4s</sub> pada Model Uji**

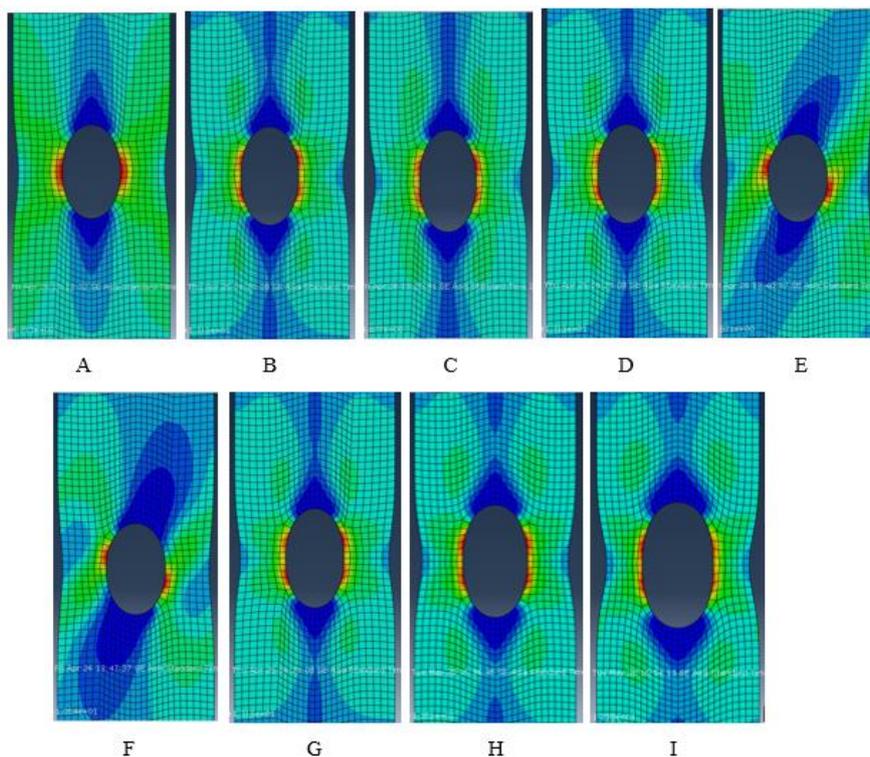
Kemudian spesimen diberi beban kerja dan kondisi batas. Pada bagian ujung bawah pelat diberi tumpuan *fixed*, kemudian di ujung atas pelat diberi beban kerja sebesar 400 N (Gambar 2). Jadi model uji akan di uji tarik berdasarkan pemberian beban kerja di ujung atas pelat yang diberi arah ke atas (tarik).



**Gambar 2. Pemberian Beban Kerja dan Kondisi Batas**

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sesuai desain simulasi numerik di awal, didapat 9 variasi dari 3 parameter dengan masing-masing 3 level sesuai *orthogonal array* L9 (Gambar 3).



Gambar 3. Simulasi pada 9 variasi pelat berlubang

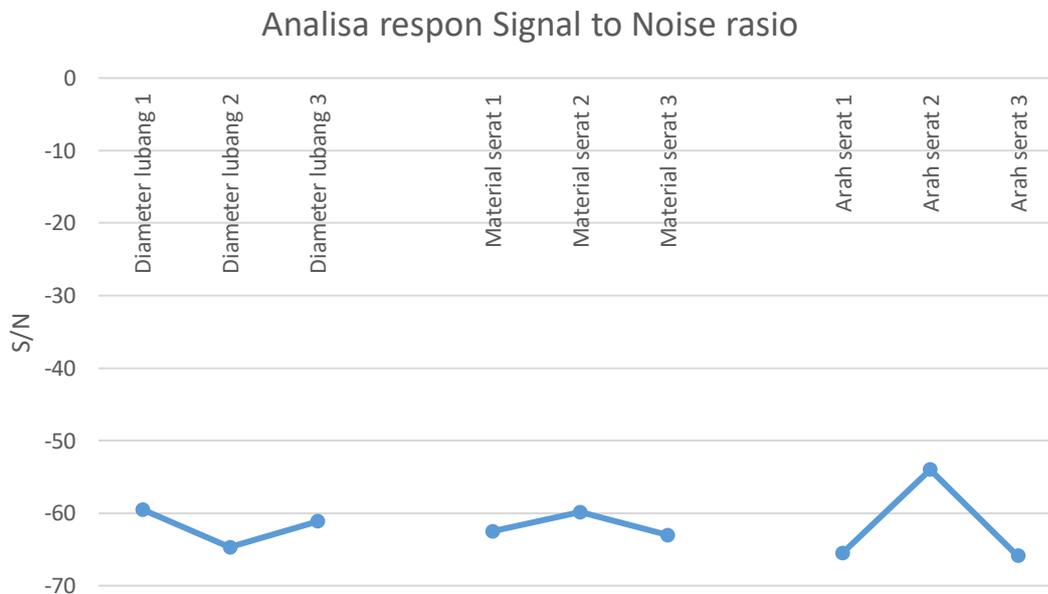
Tabel 4. Variasi Faktor beserta Hasil Simulasinya

Trial	Faktor			Hasil Percobaan (kPa)			Rata Rata (kPa)
	Diameter	Material	Arah Serat	Noise 1	Noise 2	Noise 3	
A	22	E Glass	(45/-45)4s	1273.94	1217.58	1217.58	1236.37
B	22	Carbon	(0/90)4s	286.29	286.50	286.50	286.43
C	22	Kevlar	(45/-45)(0/90)4s	2404.24	2404.30	2404.30	2404.28
D	25	E Glass	(0/90)4s	1047.04	1048.94	1049.12	1048.37
E	25	Carbon	(45/-45)(0/90)4s	1739.60	1746.68	1740.30	1742.19
F	25	Kevlar	(45/-45)4s	2771.47	2809.56	2811.76	2797.60
G	28	E Glass	(45/-45)(0/90)4s	1841.71	1841.41	1841.67	1841.60
H	28	Carbon	(45/-45)4s	1892.37	1943.84	1943.91	1926.71
I	28	Kevlar	(0/90)4s	421.25	421.17	421.25	421.23
							1522.75

Hasil data dari variasi faktor disajikan pada Tabel 4. Selanjutnya di olah pada tabel respon rata-rata (Tabel 5), untuk mencari urutan faktor yang paling berpengaruh, juga untuk menentukan model uji yang paling optimum. Model uji bisa disebut optimum apabila memiliki tegangan terkecil.

**Tabel 5. Hasil respon rasio signal terhadap noise (S/N)**

	signal to noise response		
	Diameter lubang	Material serat	Arah serat
level 1	-59.535	-62.5197	-65.4926
level 2	-64.7227	-59.8864	-54.0136
level 3	-61.1637	-63.0153	-65.9152
range	5.1876	3.1288	11.9015

**Gambar 4. S/N Response analysis**

Dari grafik di Gambar 4 menunjukkan nilai S/N dari tiap level di ketiga faktor. Nilai S/N yang tertinggi menandakan nilai optimum dari tiap faktor. Dapat dilihat kombinasi optimum (Tabel 4) sebagai berikut: diameter lubang optimum adalah level 1 yakni 22 mm, material serat optimum adalah level 2 yakni carbon, sedangkan arah serat optimum adalah level 2 yakni 0/90.

Selanjutnya dilakukan analisa ANOVA untuk melihat faktor mana yang paling berpengaruh. Hasil perhitungan dapat dilihat di Tabel 6.

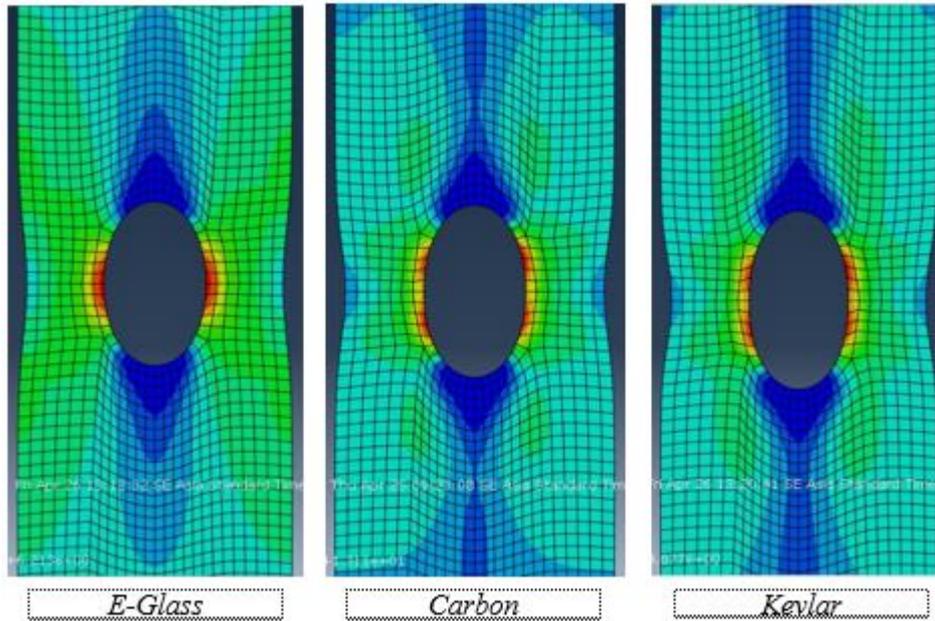
**Tabel 6. Tabel ANOVA (Analysis Of Variance)**

Sumber	SS	DF	MS	Fratio	SS'	%
Diameter	1594741.24	2	797370.62	6.66	1474971.17	8.59
Material	1683674.62	2	841837.31	7.03	1563904.54	9.10
Arah Serat	11863342.99	2	5931671.49	49.53	11743572.91	68.36

error	2155861.38	18	119770.08	1.00	2036091.31	11.85
SSt	17297620.23	26	665293.09		17177850.15	100.00
SS Mean	62606842.96					
SS total	79904463.19					

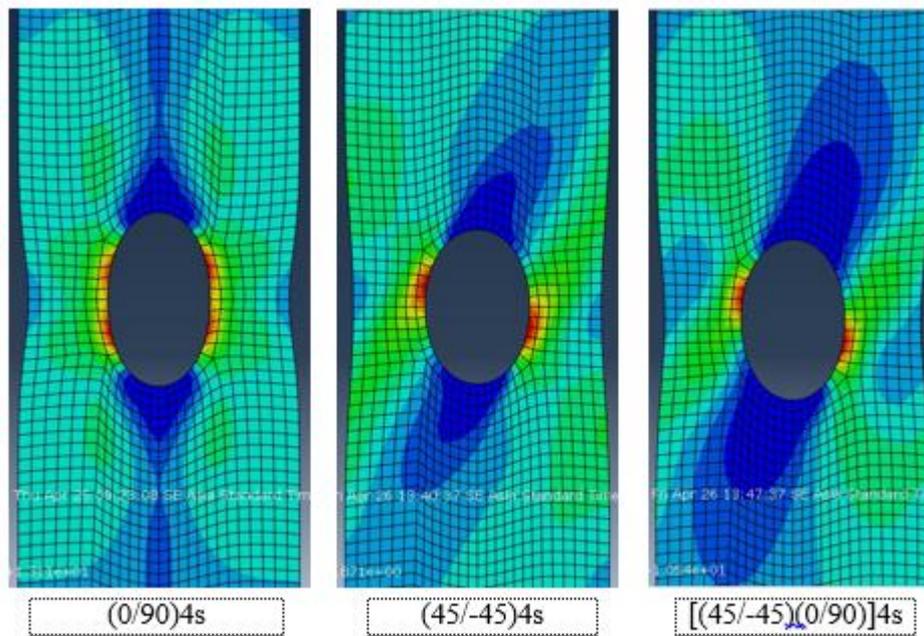
Dari hasil ANOVA didapat arah serat paling berkontribusi terhadap kekuatan pelat komposit berlubang sebesar 68.36%, disusul material serat sebesar 9.1% dan diameter lubang sebanyak 8.59%. Dengan begitu pada proses rancang bangun komponen komposit yang terdapat lubang harus diperhatikan dengan benar arah serat pada tiap lamina.

### Perbandingan Hasil Visualisasi



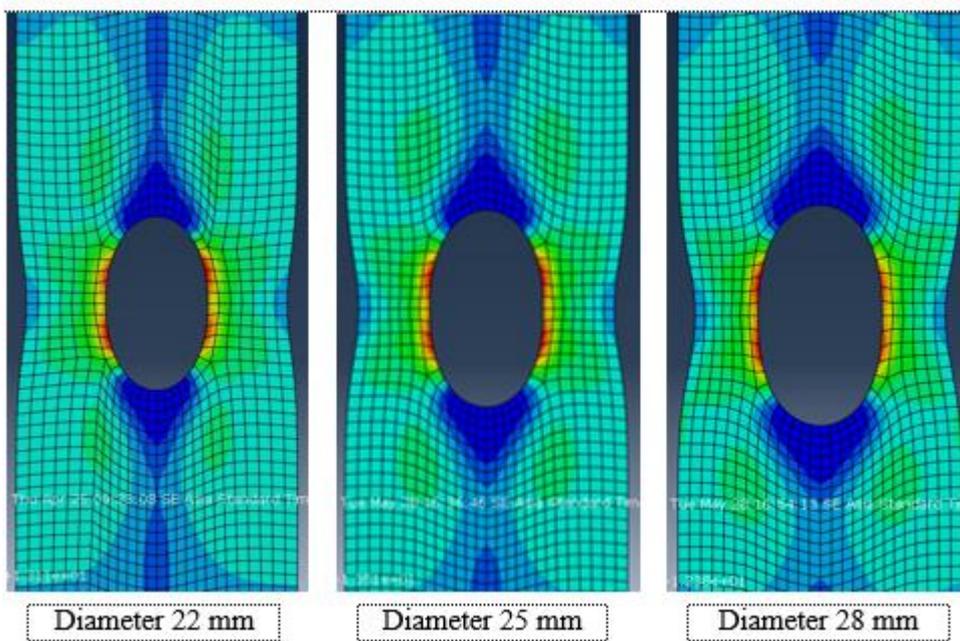
Gambar 3. Perbandingan visualisasi dengan Material yang berbeda

Gambar 3. di atas merupakan perbandingan visualisasi dengan ukuran diameter yang sama, yaitu 22 mm, dan arah serat yang sama, yaitu (0/90)<sub>4s</sub>, namun memiliki material yang berbeda. Dari hasil gambar, efek visualisasi dari Carbon dan Kevlar hampir sama (konsentrasi tegangan tertinggi dinyatakan dengan warna merah). Namun, Carbon lebih unggul, karena memiliki konsentrasi tegangan terkecil dibandingkan dengan material lain. Dimana nilai tegangannya masing masing adalah E-Glass = 929 kPa, Carbon = 288 kPa, dan Kevlar = 353 kPa.



**Gambar 4. Perbandingan visualisasi dengan Arah Serat yang berbeda**

Gambar 4. di atas merupakan perbandingan visualisasi dengan ukuran diameter yang sama, yaitu 22 mm, dan material yang sama, yaitu Carbon, namun memiliki arah serat yang berbeda. Dari hasil gambar, efek visualisasi terlihat arah serat (45/-45)(0/90)4s mempunyai efek yang hampir sama dengan (45/-45)4s, ini disebabkan karena adanya serat (45/-45)4s pada serat gabungan tersebut. Namun arah serat yang baik untuk uji tarik adalah arah serat (0/90), karena arah seratnya sesuai dengan arah gaya. Dimana nilai tegangannya masing masing adalah (0/90)4s = 929 kPa, (45/-45)4s = 1.581 kPa, dan [(45/-45)(0/90)]4s = 1.610 kPa. Dan dari hasil tegangan ini pula dapat disimpulkan mengapa arah serat memiliki persentase besar dari faktor-faktor lain, Karena hasil tegangannya cukup drastis. Hasil ini serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Özaslan, dkk [2] yang menyimpulkan bahwa pelat komposit berlubang dengan arah serat 0/90° memiliki nilai faktor konsentrasi tegangan yang paling kecil.



**Gambar 5. Perbandingan visualisasi dengan diameter lubang yang berbeda**

Gambar 5. di atas merupakan perbandingan visualisasi dengan material yang sama, yaitu Carbon, dan arah serat yang sama, yaitu (0/90)<sub>4s</sub>, namun memiliki diameter yang berbeda. Karena arah seratnya sama dan material nya sama, sehingga tidak terlalu terlihat perbedaannya. Hanya saja semakin besar ukuran lubang, semakin tertarik pula sisi pelat yang dekat dengan lubang (jarak sisi lubang dengan sisi pelat semakin kecil jaraknya). Tidak hanya itu, semakin besar lubang semakin besar pula tegangannya. Dimana nilai tegangannya masing masing adalah 22 mm = 288 kPa, 25 mm = 307 kPa, dan 28 mm = 339 kPa

#### 4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kombinasi yang paling optimum untuk pelat komposit berlubang dengan pembebanan tarik adalah diameter 22 mm menggunakan serat karbon dengan arah serat 0/90. Dari ketiga faktor yang dikombinasikan menunjukkan bahwa arah serat memiliki kontribusi yang signifikan dibanding diameter lubang dan material komposit. Dari sini dapat menjadi rekomendasi pada rancang bangun struktur UAV untuk memperhatikan arah serat baik saat proses desain maupun ketika tahap manufaktur.

Adapun untuk material serat ternyata tidak terlalu signifikan untuk kasus ini, sehingga bisa diutamakan pemilihan material dengan harga yang lebih murah. Sedangkan diameter lubang yang biasanya untuk keperluan perkabelan sebaiknya tidak terlalu besar supaya tidak terjadi kenaikan konsentrasi tegangan yang tinggi.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Agus Aribowo selaku Kepala Bidang Program & Fasilitas dan Bapak Gunawan S Prabowo selaku Kepala Pusat Teknologi Penerbangan-LAPAN yang telah mendukung kegiatan ini. Penulis Juga mengucapkan terimakasih kepada Bapak Atik Bintoro sebagai pembimbing dalam melakukan penelitian. Terima kasih juga kami ucapkan kepada seluruh tim Laboratorium Aerostruktur Pustekbang-LAPAN.

#### PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi makalah ini merupakan tanggung jawab penulis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. J. Wong, X. J. Gong, S. Aivazzadeh, and M. N. Tamin, "Tensile behaviour of anti-symmetric CFRP composite," *Procedia Eng.*, vol. 10, pp. 1865–1870, 2011.
- [2] E. Özaslan, M. A. Güler, A. Yetgin, and B. Acar, "Stress analysis and strength prediction of composite laminates with two interacting holes," *Compos. Struct.*, vol. 221, no. April, p. 110869, 2019.
- [3] Z. Salleh, M. N. Berhan, K. M. Hyie, Y. M. Taib, A. Kalam, and N. R. N. Roselina, "Open hole tensile properties of Kenaf composite and Kenaf/fibreglass hybrid composite laminates," *Procedia Eng.*, vol. 68, pp. 399–404, 2013.
- [4] E. Özaslan, B. Acar, and M. A. Güler, "Experimental and numerical investigation of stress concentration and strength prediction of carbon/epoxy composites," *Procedia Struct. Integr.*, vol. 13, pp. 535–541, 2018.
- [5] D. Hartini, "Analisis Elemen Hingga Untuk Faktor Konsentrasi Tegangan Pada Pelat Isotropik Berlubang Dengan Pin-Loaded," *Angkasa J. Ilm. Bid. Teknol.*, vol. 8, no. 1, p. 69, 2017.
- [6] P. Sidi and M. T. Wahyudi, "Aplikasi Metoda Taguchi Untuk Mengetahui Optimasi Kebulatan

- Pada Proses Bubut Cnc,” *J. Rekayasa Mesin Tahun*, vol. 4, no. 2, pp. 101–108, 2013.
- [7] M. A. Al-Shammari, “Effect of Hole Shape on Free Vibration Characteristics of Unidirectional Composite Plates" L,” *The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering*, vol.15, No. 1, pp. 31-48, 2015.
- [8] T. Djunaedi and B. Setiawan, “Pengujian Kekuatan Tarik Komposit Variasi Arah serat Roving-Resin Polyester BQTN R157 Yang Diproduksi dengan Metode Vacuum Bagging untuk Aplikasi Pesawat Tanpa Awak" *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah, [jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek](http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek) pp. 1–10, 2018.
- [9] A. Das Anto, S. Mia, and M. A. Hasib, “The influence of number and orientation of ply on tensile properties of hybrid composites,” *J. Phys. Mater.*, vol. 2, no. 2, p. 025002, 2019.
- [10] K. Yang, *Design for Six Sigma : Roadmap to product development* , McGraw-Hill , 2nd Edition, no. August. 2016.