

PENGARUH ARAH SERAT KOMPOSIT TERHADAP KEKUATAN GESER ‘CARBON FIBER REINFORCED PLASTICS (CFRP)’ BERDASARKAN MODEL IOSIPESCU

Ilham Hatta
Bidang Teknik Material B2TKS-BPPT.
ilham.hatta@bppt.go.id

Abstrak

Pengaruh arah serat komposit terhadap kekuatan geser ‘Carbon Fiber Reinforced Plastics (CFRP)’ berdasarkan model *Iosipescu*. Industri pesawat terbang dan roket saat ini telah banyak menggunakan material komposit untuk komponen khususnya serat karbon menggantikan aluminium, karena sifatnya yang ringan dan kuat. Metode Pengujian dengan model *Iosipescu* sekaligus dapat mengukur kekuatan dan kekakuan geser dari suatu susunan laminasi serat komposit. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jenis laminasi serat yang terbaik untuk digunakan sebagai material dasar pada pembuatan komponen pesawat terbang atau roket yang akan mengalami tegangan geser akibat adanya bentuk takikan yang tidak dapat dihindari. Benda uji yang digunakan pada penelitian terdiri dari 6 macam susunan arah serat dengan ketebalan 16 layer, setiap jenis susunan arah serat ada 12 buah benda uji, sehingga jumlah semuanya 72 buah benda uji. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kekuatan geser dengan laminasi arah serat $[[0, \pm 45, 90]_2]_s$ adalah yang terbaik atau yang tertinggi nilai rata-rata kekuatan gesernya sebesar 75,87 MPa, sedangkan nilai terendah dari 6 jenis laminasi arah serat adalah jenis arah serat $[0_8]_s$ dengan nilai rata-rata kekuatan gesernya sebesar 40,54 MPa. Pada akhirnya makalah ini diharapkan dapat memberikan masukan berupa data yang dapat dimanfaatkan oleh perancang dan produsen pesawat terbang, serta roket yang ada di Indonesia.

Kata Kunci : Komposit, *Iosipescu*, Kuat geser, Arah serat, Pesawat Terbang, Roket.

Abstract

Influence the direction of the shear strength of the composite fiber "Carbon Fiber Reinforced Plastics (CFRP)" based on the Iosipescu model. Aircraft and rocket industry currently has a lot of components using composite materials to replace aluminum in particular carbon fiber, because it is light and strong. Method of Testing with Iosipescu models can simultaneously measure the strength and shear stiffness of a fiber composite laminate arrangement. This study aims to determine the type of fiber laminate is best to use as a base material in the manufacture of aircraft components or rocket will experience a shear stress due to the form of notches that can not be avoided. Specimens used in the study consisted of 6 kinds susunan direction of fibers with a thickness of 16 layers, each type of fiber direction susunan there are 12 specimens, so that the number of all 72 specimens. These results indicate that the shear strength of the laminate direction of the fiber $[[0, \pm 45, 90]_2]_s$ is the best or the highest average value of the shear strength of 75,87 MPa, while the lowest value of 6 types of laminated fiber direction is a type of fiber direction $[0_8]_s$ with the average value of the shear strength of 40,54 MPa. At the end of this paper is expected to provide input in the form of data that can be used by designers and manufacturers of aircraft and rocket in Indonesia.

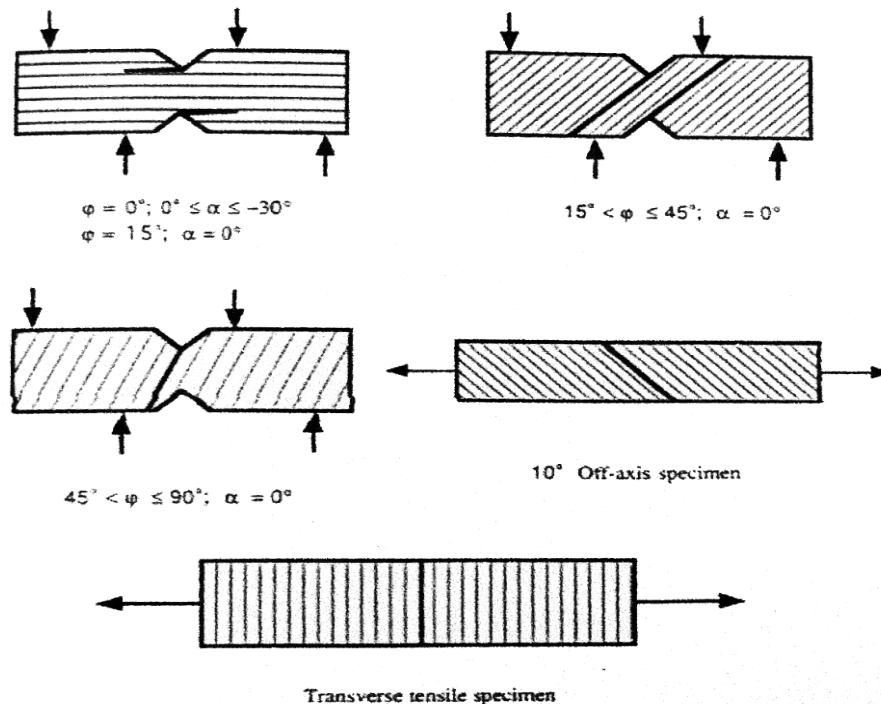
Keywords: Composites, Iosipescu, shear strength, Fiber directions, Aircraft, Rocket.

1. PENDAHULUAN

Aplikasi material komposit untuk komponen pesawat terbang dan roket terus berkembang mengikuti kemajuan teknologi dan inovasi. Umumnya material komposit yang banyak digunakan berasal dari serat ‘Carbon Fiber Reinforced Plastics (CFRP)’. Material komposit mempunyai kelebihan, karena sifatnya yang ringan, mudah dibentuk dan tahan terhadap serangan korosi, akan tetapi kekuatannya baik geser

maupun tarik sangat tergantung pada arah seratnya[4][6]. Selain itu pengaruh lingkungan dan bentuk cacat berupa lubang atau takikan juga sangat mempengaruhi kekuatan dan umur suatu komponen yang terbuat dari material komposit[8]. Pembuatan takikan atau lubang pada komponen yang terbuat dari material komposit tidak dapat dihindari, karena berfungsi untuk menyatukan komponen yang satu dengan komponen yang lainnya dengan menggunakan paku keling atau skrup. Akibat adanya takikan dan lubang, menyebabkan komponen yang berbentuk pelat tersebut mengalami konsentrasi tegangan yang besar dan sangat sensitif terhadap tegangan geser, serta dapat mengakibatkan terjadinya dasar delaminasi yang sering disebut sebagai “*hidden threat*”[7]. Untuk itu maka perlu diadakan suatu penelitian tentang “Pengaruh arah serat komposit terhadap kekuatan geser *Carbon Fiber Reinforced Plastics (CFRP)*” berdasarkan model *Iosipescu*. Penentuan kekuatan geser dari material komposit model *Iosipescu*, pertama kali diperkenalkan oleh *Nicolae Iosipescu* dari *Buccharest Rumania*[1], digunakan khusus untuk menentukan kekuatan geser material yang terbuat dari logam dan di publikasikan melalui standar ASTM pada tahun 1967. Selanjutnya oleh *Adams and Walrath* pada tahun 1982 menggunakan metode ini khusus untuk pengujian material komposit dan hasil penelitiannya di publikasikan pada konferensi ke enam tentang disain dan teknik pengujian material komposit pada ASTM STP787 halaman 19 ÷ 33[1][2]. Metode atau model pengujian ini sekaligus dapat mengukur kekuatan geser (*shear strength*) dan kekakuan geser (*shear stiffness*) dari material komposit secara simultan. Gaya yang bekerja pada benda uji adalah sistem pembebanan “*Asymmetrical four-point bending*” untuk beberapa tipe laminat (Gambar 1-1)[2][3].

Tujuan dan sasaran penelitian yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah untuk menentukan karakteristik bentuk susunan arah serat yang terbaik dan kekuatan geser dari masing masing susunan yang terbentuk pada komposit tipe *CFRP* ini, berdasarkan hasil uji geser dengan metode *Iosipescu*. Hasil ini nantinya diharapkan dapat membantu perancang dan produsen komponen industri pesawat terbang dan roket untuk menentukan kekuatan geser dari masing masing komponen berdasarkan bentuk susunan arah serat komposit dan pengaruh takikan yang dapat melemahkan kekuatan komposit tersebut.



Gambar 1-1. Bentuk – bentuk laminat komposit dan mode kerusakan yang terjadi pada benda uji model *Iosipescu*[2][3]

2. METODOLOGI

2.1. Benda Uji

Material komposit yang digunakan untuk membuat benda uji adalah[6] :

- Jenis : *Regidite G30-500/5208*
- Produsen : *BASF Structural Material*
- Bentuk : berupa unit rol dengan panjang 20 m dan lebar 2.970 inch

Spesifikasi *layer* :

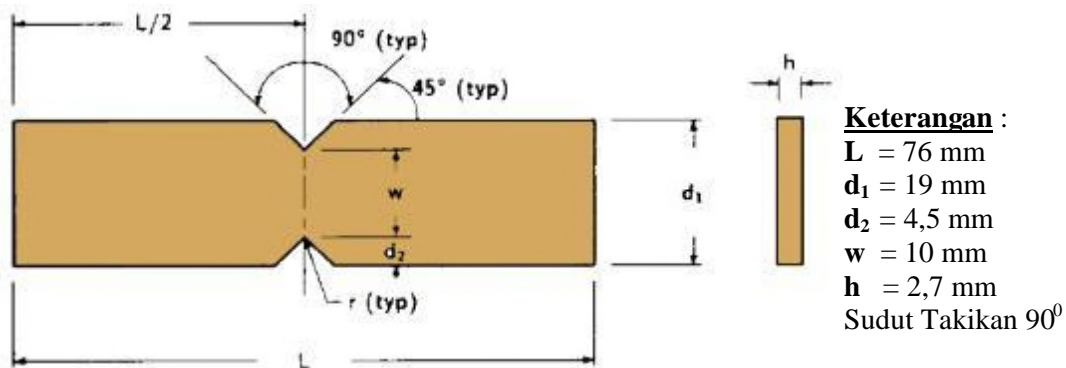
- *Longitudinal Modulus*, $E_1 = 145$ Gpa
- *Transverse Modulus*, $E_2 = 10,6$ Gpa
- *Shear Modulus*, $G_{12} = 9,7$ Gpa
- *Longitudinal Tensile Strength* $F_{IT} = 2.090$ MPa
- *Ultimate Longitudinal Tensile Strain* = 0,0137
- *Longitudinal Compressive Strength* = 1.440 MPa
- *Transverse Tensile Strength* = 64 MPa
- *Transverse Compressive Strength* = 228 MPa
- *Fiber Volume Ratio* = 0,65
- *Thickness* = $0,1397 \pm 0,0102$ mm

Tahapan pembuatan benda uji :

- *Persiapan Material Komposit* : Serat karbon atau grafit yang berbentuk lembaran disimpan dalam ruang pendingin pada temperatur -18°C . Dikeluarkan pada temperatur ruang pada temperatur ruang 24°C dengan kelembaban 80 % selama kurang lebih 8 jam sampai 16 jam dengan maksud untuk mencegah adanya absorpsi air akibat kondensasi. Kondisi lembaran *CFRP* ini sudah dalam *Prepreg B-Stage* atau sudah setengah jadi.
- *Cutting dan Kitting* : *Prepreg* mengalami proses pemotongan menjadi bentuk tertentu sesuai dengan pola cetakan dan dibuat dalam 12 *layer* atau lapisan dengan arah serat yang berbeda beda. pada penelitian ini dibuat 6 jenis arah serat dengan 12 laminat atau lapisan.
- *Dry lay up*, adalah tahap dimana *prepreg* yang telah dipotong dan diatur peletakkannya sesuai dengan orientasi arah serat dan jumlah *layer* (lapisan) yang diinginkan, pada penelitian ini dibuat 6 jenis arah serat dengan 12 *layer*.
- *Bagging* adalah proses penyimpanan material komposit *CFRP* dalam bentuk panel di dalam *autoclave* dengan menggunakan alat bantu dan kondisi *vacum* hingga 0,1 bar.
- *Curing*, adalah proses pengeringan atau polimerisasi resin dalam *bentuk prepreg B-stage* komposit *CFRP* didalam *autoclave* menjadi komposit *CFRP* yang siap pakai atau dihasilkan ikatan permanen antara serat karbon dengan lamina resin, berdasarkan tiga parameter ukur yaitu, temperatur, waktu dan tekanan. Untuk pembuatan benda uji ini dibutuhkan waktu selama 240 menit pada tempeatur 177°C dengan tekanan 790 kPa.
- *Debagging* adalah proses setelah curing, pelat komposit *CFRP* dikeluarkan dari *autoclave* dan dibiarkan beberapa jam diruang terbuka pada temperatur ruang dan semua alat bantu dilepas dan siap untuk pemotongan benda uji (*fitter and finishing*) sesuai ukuran yang diinginkan yaitu standar *Iosipescu* (lihat Tabel 2-1 dan Gambar 2-1)

Tabel 2-1. Bentuk susunan *layer* (lapisan) material komposit yang diteliti

Kode Benda Uji	Bentuk Susunan <i>Layer</i>	Jumlah Lapisan	Jumlah Benda Uji
I	$[0_8]_s$	16	12
II	$[(\pm 45)_8]_s$	16	12
III	$[(0,90)_4]_s$	16	12
IV	$[(0,\pm 45,90)_2]_s$	16	12
V	$[(0,\pm 45,0)_2]_s$	16	12
VI	$[(90,\pm 45,90)_2]_s$	16	12



Gambar 2-1. Bentuk dan ukuran benda uji pada penelitian ini dengan jumlah masing-masing 12 pcs untuk setiap bentuk susunan arah serat.

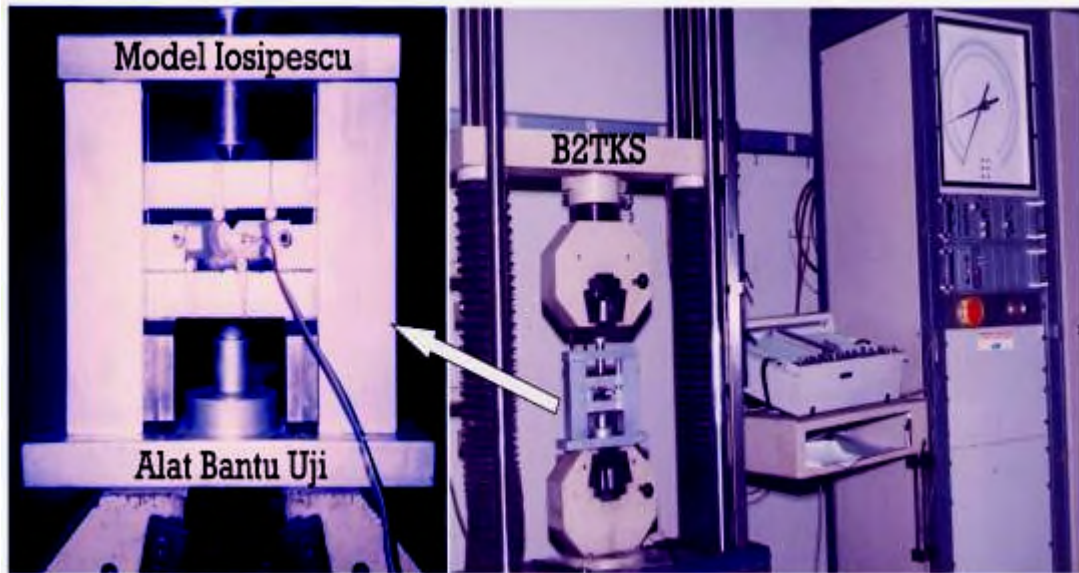
2.2. Tahapan Penelitian

Penelitian kekuatan geser material komposit *CFRP* dilakukan melalui pengukuran, pengujian dan analisis perhitungan hasil pengujian untuk menentukan jenis arah serat yang terbaik dari 6 jenis variabel bentuk susunan arah serat dengan tebal 16 lapis. Adapun tahapannya sebagai berikut :

- Pengukuran dimensi dari 12 benda uji untuk masing-masing jenis susunan arah serat
- Pembuatan alat bantu uji berdasarkan metode *Iosipescu* dan standar ASTM D5379[2].
- Pemasangan alat ukur regangan berupa *strain gauges* pada permukaan benda uji nampak pada Gambar 2-2.
- Pelaksanaan pengujian kekuatan geser dengan metode *Iosipescu* terhadap semua jenis susunan arah serat berdasarkan standar ASTM STP 787, halaman 19 ÷ 33 (Gambar 2-3)[1][3].
- Perhitungan atau analisis kekuatan geser untuk semua jenis benda uji (72 Pcs) dan pembuatan tabulasi hasil pengujian serta perhitungannya berdasarkan metode *Iosipescu*.
- Pembuatan kesimpulan dan saran hasil penelitian.



Gambar 2-2. Bentuk benda uji yang diteliti dengan jumlah masing-masing 12 pcs untuk setiap bentuk susunan arah serat dan letak *strain gauges* pada takikan.



Gambar 2-3. Kondisi Pengujian Material Komposit

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Analisis

Analisis gaya geser yang terjadi pada benda uji akibat pembebanan untuk model *Iosipescu* disajikan Gambar 3-1, nampak pada gambar tersebut arah pembebanan terletak pada empat titik yang berbeda. Pada benda uji tersebut terjadi tegangan geser dan momen sebesar gaya yang diberikan melalui titik penumpu yang bekerja secara *lateral* dan *transversal*, sehingga nampak diagram geser dan momen yang mungkin terjadi pada benda uji model *Iosipescu* (Gambar 3-1)[1][2][3].

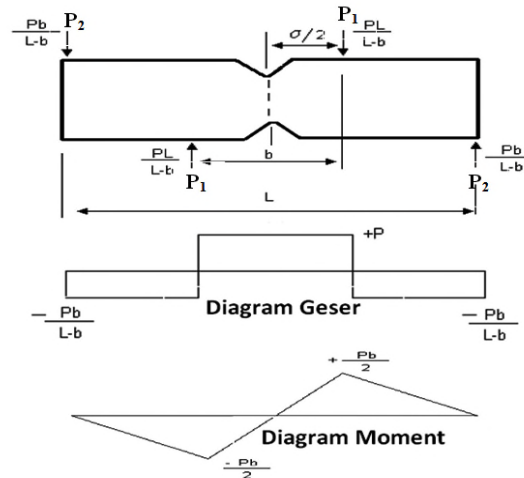
Pada gambar tersebut, gaya yang bekerja pada benda uji sudah diketahui, sehingga dapat ditentukan terjadinya tegangan geser murni akibat pembebanan. Dari diagram tersebut juga dapat diketahui bahwa tegangan geser murni terjadi pada bagian tengah benda uji (bagian takikan), pada titik ini momen lentur sama dengan nol. Juga dari diagram ini diketahui bahwa gaya geser konstan terjadi di antara gaya-gaya *innermost force couple* (P_1). Gaya geser yang terjadi di tengah-tengah benda uji sebesar $P(L-b)/(L+b)$ lebih kecil dari gaya pembebanan yang diberikan oleh perangkat uji, sedangkan momen maksimum terjadi pada titik tumpuan yaitu sebesar $(P.b)/2$. *Span ratio* adalah perbandingan antara jarak *innermost force couple* (P_1) dan jarak antara *outermost force couple* (P_2) atau L/b . Dari diagram tersebut juga dapat disimpulkan bahwa benda uji akan rusak akibat tegangan geser, apabila tegangan geser yang timbul pada bagian tengah benda uji lebih besar dari momen maksimum yang terjadi pada titik tumpuan bagian dalam. Jadi gaya yang menimbulkan tegangan geser harus lebih besar dari gaya yang menimbulkan momen maksimum, sehingga $(P.b)/L-b < P$ atau $b < (L-b)$ atau $b < (L/2)$. Jadi lokasi titik pembebanan dibatasi pada $b < L/2$, agar dicapai kegagalan geser sepanjang bagian tengah benda uji. Dari penjelasan diatas dapat diturunkan rumus untuk menghitung besarnya tegangan geser yang terjadi pada benda uji model *Iosipescu*, adalah berdasarkan persamaan (1)[1][2][3].

$$\tau_{xy} = \frac{P(L-b)}{A(L+b)} \quad (1)$$

dimana τ_{xy} = Tegangan Geser, P = Gaya, A = Luas penampang, L = Jarak Tumpuan Luar dan b = Jarak Tumpuan Dalam. Sedangkan nilai regangan geser (γ_{xy}) yang terjadi pada masing-masing benda uji terukur melalui *strain gauges* yang terpasang pada bagian tengah benda uji (Gambar. 2-2), sehingga nilai

modulus geser dari material komposit untuk masing-masing tipe lapisan dapat ditentukan dengan rumus [1][2][3] :

$$G_{xy} = \frac{\tau_x}{\gamma_{xy}} \quad (2)$$



Gambar 3-1. Idealisasi gaya, momen dan diagram geser model uji *Iosipescu*

Berdasarkan rumus (1) dan (2), maka dari hasil pengujian dan pengukuran dapat dihitung besarnya masing-masing kekuatan geser untuk setiap arah bentuk lapisan komposit *CFRP* yang terdiri dari 16 layer, yaitu :

Hasil pengukuran jarak tumpuan luar $L = 51$ mm dan Jarak tumpuan dalam $b = 16$ mm, untuk luar penampang benda uji daerah takikan $A = 28,35$ mm² (jenis lapisan dengan arah serat $[0_s]_s$), dan hasil pengujian diketahui bahwa gaya maksimum $P = 2250$ N dengan regangan $\gamma_{xy} = 0,066$ %, sehingga nilai kekuatan geser atau tegangan geser untuk benda uji ini adalah :

$$\tau_{xy} = \frac{P(L-b)}{A(L+b)} = \frac{2250(51-16)}{28,35(51+16)} = 41,46 \text{ MPa, dan } G_{xy} = \frac{\tau_x}{\gamma_{xy}} = 62,8 \text{ Gpa,}$$

Selanjutnya, hasil perhitungan dan nilai rata-rata (rerata) dari 72 pcs benda uji dengan 6 jumlah variasi arah serat komposit *CFRP* yang masing-masing diwakili oleh 12 pcs benda uji, disajikan pada Tabel 3-1 di bawah ini :

Tabel 3-1. Hasil uji geser dengan metode *Iosipescu* pada material *CFRP*, setiap bentuk susunan layer diwakili oleh 12 benda uji sehingga yang tertera nilai rerata

Bentuk Susunan Layer	Rerata Sisa Lebar Takikan w [mm]	Rerata Luas Penampang A [mm ²]	Rerata Gaya Geser P [N]	Rerata Tegangan Geser τ_{xy} [MPa]	Rerata Regangan Geser γ_{xy} [%]	Rerata Modulus Geser G_{xy} [Gpa]
$[0_s]_s$	10,5	28,35	2.200	40,54	0,080	50,675
$[(\pm 45)_s]_s$	9,7	25,22	3.200	66,28	1,042	6,36
$[(0,90)_s]_s$	10,1	27,27	3.300	63,22	0,114	55,46
$[(0,\pm 45,90)_2]_s$	10,2	27,54	4.000	75,87	0,395	19,21
$[(0,\pm 45,0)_2]_s$	9,9	26,73	2.600	50,81	0,124	40,98
$[(90,\pm 45,90)_2]_s$	9,2	24,84	2.750	57,83	0,724	7,99

Diketahui : Jarak Tumpuan Luar, $L = 51$ mm
 Jarak Tumpuan Dalam $b = 16$ mm
 Temperatur Uji $T = 32$ °C
 Kelembaban Udara = 80 %

Lebar Benda Uji, $h = 19$ mm
 Tebal Benda Uji, $t = 2,7$ mm
 Jumlah Benda Uji 12 Pcs

3.2. Pembahasan

Hasil Analisis menunjukkan bahwa kekuatan geser material komposit yang terbuat dari serat karbon atau *CFRP* yang mengalami takikan model *Iosipescu*, sangat tergantung pada arah orientasi serat dan jumlah lapisan yang dibuat. Hal ini dibuktikan bahwa untuk arah orientasi serat nol derajat atau $[0]_s$, mempunyai kekuatan geser rerata sebesar 40,54 MPa dengan nilai modulus geser sebesar 50,675 GPa. Sedangkan untuk arah orientasi serat \pm empat puluh lima derajat atau $[(\pm 45)]_s$, kekuatan geser reratanya sebesar 66,28 MPa dengan nilai modulus gesernya sebesar 6,36 GPa. Untuk variasi lapisan arah orientasi serat nol derajat dan 90 derajat atau $[(0,90)]_s$, kekuatan geser reratanya sebesar 63,22 MPa dengan nilai modulus geser sebesar 55,46 GPa. Sedangkan untuk variasi arah orientasi serat nol derajat, \pm empat puluh lima derajat dan 90 derajat atau $[(0, \pm 45, 90)]_s$, kekuatan geser reratanya sebesar 75,87 MPa dengan nilai modulus gesernya sebesar 19,21 GPa. Untuk variasi lapisan arah orientasi serat nol derajat dan \pm empat puluh lima derajat kekuatan geser reratanya sebesar 50,81 MPa dengan nilai modulus geser sebesar 40,98 GPa, dan untuk variasi arah orientasi serat 90 derajat dan \pm empat puluh lima derajat kekuatan geser reratanya sebesar 57,83 MPa dengan nilai modulus gesernya sebesar 7,99 GPa (Tabel 3-1).

Hasil perhitungan kekuatan geser menunjukkan bahwa lapisan dengan variasi arah orientasi serat nol derajat, \pm empat puluh lima derajat dan 90 derajat atau $[(0, \pm 45, 90)]_s$ adalah yang terbaik, karena mempunyai kekuatan geser tertinggi atau sebesar 75,87 MPa, sedangkan yang terendah adalah lapisan dengan variasi arah orientasi serat nol derajat atau $[0]_s$ dengan kekuatan geser sebesar 40,54 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin banyak variasi sudut arah orientasi serat, maka material komposit tersebut semakin kuat dan modulus geser atau kekakuannya cukup bagus, karena tidak terlalu kaku. Untuk tipe material komposit *CFRP* dengan jumlah lapisan 16 layer dan arah orientasi serat yang bervariasi, nilai modulus gesernya terletak antara 6,36 GPa hingga 55,46 GPa. Hal ini sangat dipengaruhi oleh arah pembebanan. Pada pengujian model ini arah pembebanan tegak lurus terhadap arah orientasi serat nol derajat, artinya prakiraan awal menyatakan bahwa kekuatan geser tertinggi adanya pada arah serat nol derajat, akan tetapi pada kenyataannya dengan variasi arah orientasi serat diketahui bahwa yang terbaik adalah arah serat dengan variasi nol derajat, \pm empat puluh lima derajat dan 90 derajat atau $[(0, \pm 45, 90)]_s$, sedangkan nilai modulus geser atau kekakuan material berada pada variasi arah orientasi serat nol derajat dan 90 derajat.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa arah orientasi serat sangat mempengaruhi kekuatan geser suatu material komposit, khususnya yang terbuat dari material serat karbon atau *CFRP*, sehingga untuk membuat suatu komponen pesawat terbang atau roket hasil penelitian dapat menjadi salahsatu acuan yang berguna, karena telah diketahui bahwa semakin bervariasi arah orientasi serat maka kekuatan gesernya semakin kuat dan kekakuannya cukup baik[9]. Benda uji dengan model *Iospescu* merupakan salahsatu cara untuk menentukan kekuatan geser komposit dan telah distandarkan pada standar ASTM STP787 halaman 19 ÷ 33, dan ASTM D 5379/D 537M-12, 2012.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi serat komposit tipe karbon atau *CFRP* dalam industri pesawat terbang dan roket sangat berguna sebagai material substitusi atau pengganti dari material yang digunakan sebelumnya karena mempunyai kekuatan geser dan kekakuan yang cukup tinggi, menggantikan aluminium atau sejenisnya. Dari penelitian ini diketahui bahwa serat dengan variasi arah orientasi nol derajat, \pm empat puluh lima derajat dan 90 derajat atau $[(0, \pm 45, 90)]_s$ adalah yang tertinggi dengan nilai kekuatan geser sebesar 75,87 MPa, sedangkan nilai modulus geser atau kekakuan material berada pada variasi arah orientasi serat nol derajat dan 90 derajat dengan nilai modulus geser sebesar 55,46 GPa. Artinya kekuatan geser material komposit sangat dipengaruhi oleh orientasi arah serat dan semakin banyak variasi sudut arah orientasi serat, maka kekuatan geser komposit semakin kuat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Ir. Sudarmadi M.Eng, Sc dan Bapak DR. Ing. H. Agus Suhartono, serta Panitia SIPTEKGAN XX 2016 dan teman sejawat yang telah memberikan kesempatan dan membantu kami dalam penulisan makalah ini.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi tulisan ini menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya sebagai penulis, dan tulisan ini merupakan hasil penelitian yang telah kami laksanakan pada Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS) BPPT. Demikian Pernyataan ini kami buat untuk digunakan sebagaimana mestinya.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) D. E. Walrath and D. F. Adams, 1983, *ASTM STP 787 The Iosipescu Shear Test As Applied to Composite Materials*, *Experimental Mechanics*, Vol. 23, No. 1, pp. 19-33.
- 2) ASTM D 5379/D 537M-12, 2012, *Standard Test Method for Shear Properties of Composite Materials by the V-Notched Beam Method*, ASTM International (W. Conshohocken, PA, US), (first issued in 1993).
- 3) ASTM D 7078/D 7078M-12, 2012, *Standard Test Method for Shear Properties of Composite Materials by the V-Notched Rail Shear Method*, ASTM International (W. Conshohocken, PA, US), (first issued in 2005).
- 4) Okabe T, Imamura H, Sato Y, Higuchi R, Koyanagi J, Talreja R., 2015, *Experimental and numerical studies of initial cracking in CFRP cross-ply laminates*, *Composites: Part A*;68:81–9.
- 5) Xiao Y, Kawai M, Hatta H., 2010, *An integrated method for off-axis tension and compression testing of unidirectional composites*, *J Compos Mater*, 45:657–69.
- 6) “Hexcel 8552 IM7, 2011, *Unidirectional Prepreg 190 gsm & 35%RC Qualification Material Property Data Sheet*, National Institute for Aviation Research, NCAMP Test Report No. CAM-RP-2009-015 Revision A, Wichita State University, Wichita, KS.
- 7) Xavier CJ, Garrido MN, Oliveira M, Morais LJ, Camanho PP, Pierron F., 2004, *A comparison between the Iosipescu and off-axis shear test methods for the characterization of Pinus Pinaster Ait Composites: Part A*; 35:827–40.
- 8) DOT/FAA/AR-03/63, 2003, *Development and Evaluation of the V-Notched Rail Shear Test for Composite Laminates*, United States. Federal Aviation Administration Office of Aviation Research Report, Washington, DC.
- 9) Searles K, Odegard G, Kumosa M., 2002, *The effect of eccentric loads on the macroscopic strain and stress distributions in woven fabric composite Iosipescu specimens*, *J Compos Mater* ;36(5):571–88.

RIWAYAT SINGKAT PENULIS



Ilham Hatta, Lahir di Makassar. Menyelesaikan pendidikan S-1 pada Fakultas Teknik, Jurusan Mesin Universitas Hasanuddin. S-2 pada Institut Sains Dan Teknologi Nasional (ISTN) Jakarta, Jurusan Teknik Mesin bidang Manufaktur. Bekerja sebagai Peneliti bidang Material Teknik di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) dari tahun 1985 sampai sekarang. 2006 – 2008 menjabat sebagai **Kepala Puspiptek** dan saat ini sebagai Ahli Peneliti Utama (APU) dengan pangkat Pembina Utama Gol. IV/e. Mendalami keahlian bidang Analisis kerusakan dan Pengkajian Sisa Umur Komponen dan Material yang beroperasi pada temperatur tinggi, Teknologi material komposit, metal *forming* dan *Fastener*.