



Terbit online pada laman web jurnal : <http://metal.ft.unand.ac.id>

METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal

| ISSN (Print) 2598-1137 | ISSN (Online) 2597-4483 |



Artikel Penelitian

Karakteristik Mekanik Komposit *Polyester E-Glass* Dengan *Stacking Sequences* [0°, 90°, 0°]

Ilhamdi^a, Dony Hidayat^b, Fadli Febriyan^a

^aJurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang 25163

^bPusat Teknologi Penerbangan, Pustekbang – LAPAN Rumpin, Bogor 16350

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 03 September 2019

Revisi Akhir: 25 September 2019

Diterbitkan Online: 04 Oktober 2019

KATA KUNCI

Komposit hand lay-up

Sequences 0°, 90°, 0°

Tensile

Compressive

Failure mode

KORESPONDENSI

E-mail: ilhamdi@eng.unand.ac.id

ABSTRACT

There is one fact that leads composite material to be a unique material, among others. Its properties could be settable or flexible with the arrangement of composition, orientation and production procedure. Meanwhile, other materials seemed to have fixed set after fabrication. Nowadays, one of the widely developed structural composites is a polymer-based composite with inorganic reinforcement. It is useful in automotive or aircraft component because reasonable strength and much lower density compared to metal.

In this study, e-glass fibres were manually laminated with polyester resin in the open die using a brush. This method is widely known as hand lay-up. Fibres were set in stacking sequences of 0°, 90°, and 0°, means fibres are in a perpendicular direction to its neighbour fibres. After complete dried up, the composite panel is cut off accordingly to ASTM standard for the tensile and compressive testing specimen. In order to examine the hole effect, the centre of gage length specimen was drilled off. Namely, the specimen will be distinguished as no hole specimen and open-hole specimen.

Results showed a tensile strength of 200.58 MPa and 155.22 MPa, compressive strength of 335.73 MPa and 254.1 MPa, for no hole and open hole specimen respectively. Introducing open hole reduces the mechanical strength of composite both tensile and compressive. It could be mechanical consideration for safety design of the composite material application. The failure mechanism of the composite is also influenced by the existence of an open hole. When no hole specimen experiences failure at near to grip (LAT), the open-hole specimen has fracture line propagate from the hole into width (LGM).

1. PENDAHULUAN

Isu pemanasan bumi secara global yang salah satunya disumbangkan oleh emisi gas CO₂ dari kendaraan bermotor [1], dan isu ketersediaan sumber daya alam basis bahan bakar minyak yang telah menipis sejak krisis minyak dunia 1970-an [2], menuntut pengefisiensi konsumsi bahan bakar kendaraan. Salah satu caranya adalah penurunan bobot kendaraan. Untuk mencapai hal tersebut, aplikasi sistem komposit yang lebih luas untuk komponen struktural bisa dilakukan. Hal ini dikarenakan sifat komposit yang bisa diatur sesuai

kebutuhan, terutama fisik dan mekanik [3]. Dengan kekuatan yang dapat dibandingkan dengan logam, dan masa jenis yang lebih rendah, diharapkan komposit dapat dipertimbangkan sebagai material struktural.

Sebagai contoh dalam industri dirgantara, pesawat angkut amfibi sangat cocok dikembangkan di Negara kepulauan seperti Indonesia. Pada pulau-pulau kecil, ketiadaan lahan datar yang luas untuk airport bisa diantisipasi oleh pesawat amfibi tersebut. Untuk memperbesar masa angkut maka bobot pesawat harus lebih diringankan tanpa mengorbankan nilai kekuatan mekanis.

Selain itu dengan luas sekitar 1,9 juta km² yang terdiri dari 17.500 pulau, keberadaan pesawat nir awak (unmanned aircraft vehicle, UAV) sangat diperlukan untuk berbagai keperluan; mitigasi bencana seperti; banjir, gempa bumi, kebakaran hutan dan longsor, dan keperluan pemetaan, pengawasan hutan dan perkebunan [4]. Kalsifikasi yang harus dimiliki pesawat nir awak salah satunya adalah jarak tempuh dan lama terbang. Ini terkait juga dengan bobot pesawat tersebut yang diharapkan ringan. Salah satu UAV yang dikembangkan di Indonesia adalah LSU-02 oleh LAPAN [4].

Penelitian sebelumnya menunjukkan kekuatan mekanik yang cukup besar dari komposit polimer berpenguat serat e-glass 317-390 MPa [5]. Penumpukan serat secara searah dengan bantuan laminasi resin polyester memberikan kekuatan yang cukup besar kepada sistem komposit. Pada kenyataannya, material non logam biasa disambung secara mekanis seperti keling, dan baut [6], yang memberikan kontur lubang lingkaran pada daerah sambungan. Keberadaan lubang (hole) pada sambungan tersebut ternyata memberikan efek pelemahan pada komposit; mengurangi kekuatan tarik sekitar 16% [5]. Studi ini melihat pengaruh orientasi tumpukan serat yang saling tegak lurus satu sama lainnya saat dilaminasi dengan polyester. Untuk mendapatkan karakteristik mekanik pada sistem sambungan, maka juga dilakukan pengujian tarik dan tekan pada komposit yang diberikan lubang pada daerah center spesimen. Perilaku patahan juga akan diamati pada penelitian ini.

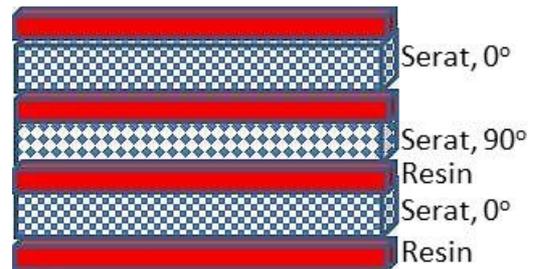
2. METODOLOGI

2.1 Material dan spesimen

Serat e-glass dipotong sebanyak 3 lembar dengan ukuran 40 x 45 cm, dengan menggunakan gunting. Polimer *unsaturated polyester* resin (merk Yukalac) digunakan sebagai matriks. Perbandingan antara matriks dan serat adalah 60:40. Untuk mempercepat pengeringan resin, ditambahkan katalis dengan perbandingan terhadap resin adalah 1:100. Resin dan katalis diaduk secara merata.

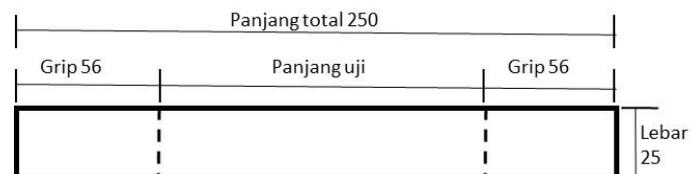
Pembuatan panel komposit / sampel dimulai dengan pemberian lapisan wax pada cetakan kaca. Ini bertujuan untuk mencegah lengketnya komposit pada kaca, dan memudahkan pengangkatan sampel dari cetakan setelah proses selesai. Diatas wax, dioleskan resin dengan kuas, lalu dilakukan peletakan lembaran serat secara hati-hati. Arah

serat diposisikan pada arah panjang sampel (0°). setelah itu, resin kembali dioleskan di atas serat, dan peletakan serat secara tegak lurus terhadap panjang sampel (90°). Komposit ditutup dengan peletakan serat diatas laminasi resin pada lembaran serat yang kedua, dan serat kembali laminasi dengan resin, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Komposit akan kering sempurna setelah 19 jam pasca laminasi terakhir, dan komposit bisa dikeluarkan dari cetakan dengan bantuan penggaris.



Gambar 1. Model penyusunan serat dan laminasi polimer.

Pada Gambar 2 diperlihatkan spesimen uji tarik dari panel komposit. Spesimen uji tarik ini berukuran panjang 250 mm dan lebar 25 mm dipotong dari sampel komposit dengan menggunakan gergaji tangan. Sebagian spesimen uji tarik diberi lubang berdiameter 4,1 mm pada bagian tengah daerah uji. Spesimen tarik tersebut mengacu pada standar ASTM D3039. Kedua ujung spesimen diberikan tape sepanjang 56 mm. tape ini berguna untuk mencegah terjadi slip pada saat pengujian. Slip diminimalkan dengan menutupi kemulusan permukaan spesimen.



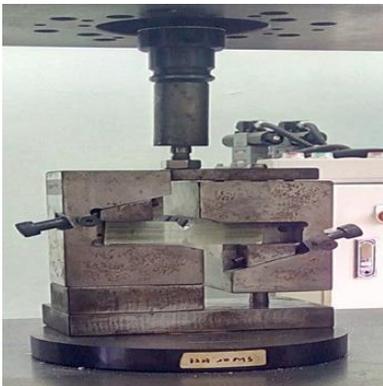
Gambar 2. Spesimen uji Tarik. Catatan; garis putus-putus adalah penanda batas daerah grip

Seperti spesimen uji tarik, spesimen uji tekan juga dipotong dari sampel komposit dengan ukuran 140 mm x 13 mm. Sebagian spesimen uji tekan juga diberi lubang berdiameter 2,1 mm pada bagian tengah daerah uji. Spesimen tekan mengikuti standar ASTM D6641. Kedua daerah ujung spesimen dilapisi dengan tape sepanjang 64 mm.

2.2. Kaji Eksperimental

Pengujian tarik dan tekan dilaksanakan masing-masing sebanyak 6 kali. Pengujian tarik dan tekan dilakukan pada universal testing machine kapasitas 100 kN. Pengujian dilaksanakan pada kecepatan crosshead sebesar 2 mm/min. Pembacaan beban dan defleksi saat pengujian ditampilkan pada monitor computer yang terintegrasi dengan UTM.

Pada Gambar 3 diperlihatkan set-up eksperimen untuk pengujian geser. Spesimen dijepit menggunakan *jig* yang telah disesuaikan dengan standar ASTM D5379 dengan kecepatan beban 2 mm/menit. Material uji geser ini menggunakan perbandingan matriks dan serat yaitu 60% : 40% dan diberi takikan V pada bagian tengah.



Gambar 3. Pengujian geser spesimen komposit.

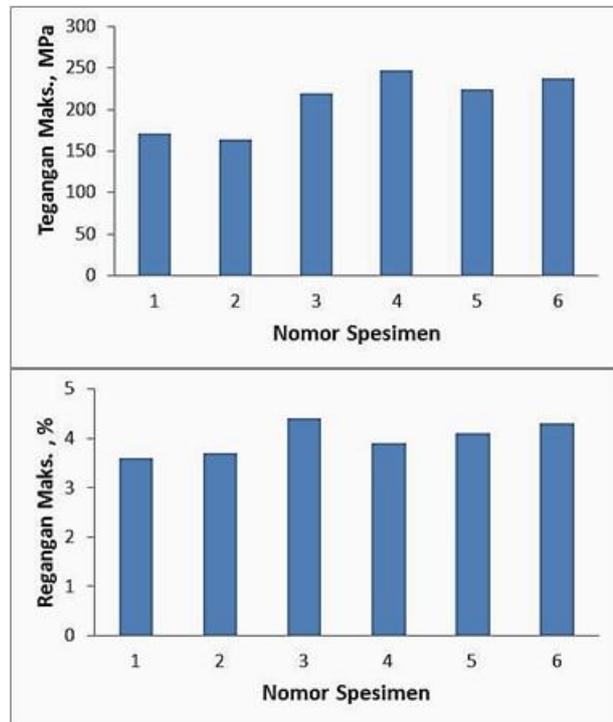
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Tarik

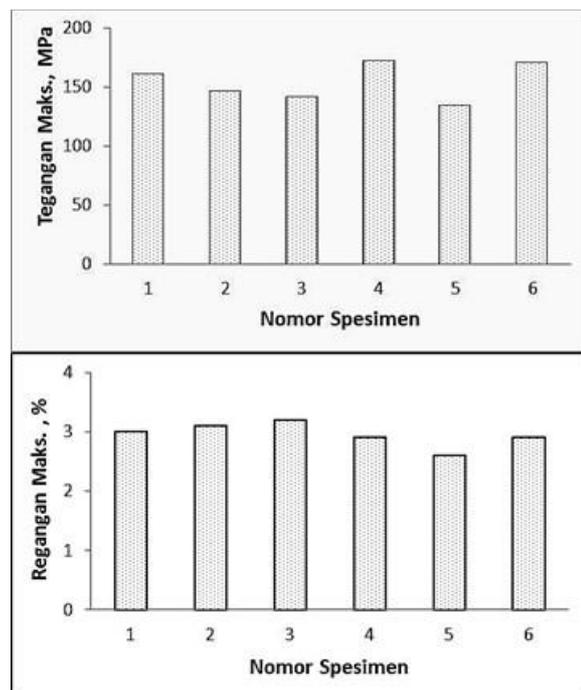
Pengujian tarik pada spesimen tanpa lubang (no hole) pada Gambar 4 memberikan nilai kekuatan tarik dalam rentang 164 – 248 MPa dan rata-rata 211 MPa. Sedangkan regangan saat patah diketahui sebesar 3,6 – 4,4% pada rata-rata 4%. Perbedaan nilai kekuatan tarik yang tidak terlalu besar antar nilai minimum dan maksimum terhadap rata-rata, menandakan komposit memiliki kualitas yang cukup seragam. Bahkan nilai regangan mengonfirmasikan keseragaman komposit dengan baik.

Pengujian tarik pada spesimen dengan adanya lubang pada center (open hole) pada Gambar 5 memberikan nilai kekuatan tarik dalam rentang 135 – 173 MPa dan rata-rata 155 MPa. Sedangkan regangan saat patah diketahui sebesar 2,6 – 3,2% pada rata-rata 2,95%. Seperti halnya pada

spesimen tanpa lubang, perbedaan nilai kekuatan tarik yang tidak terlalu besar antar nilai minimum dan maksimum terhadap rata-rata, menandakan komposit memiliki kualitas yang cukup seragam. Bahkan perbedaan tersebut lebih kecil. Nilai regangan mengonfirmasikan keseragaman komposit dengan baik.



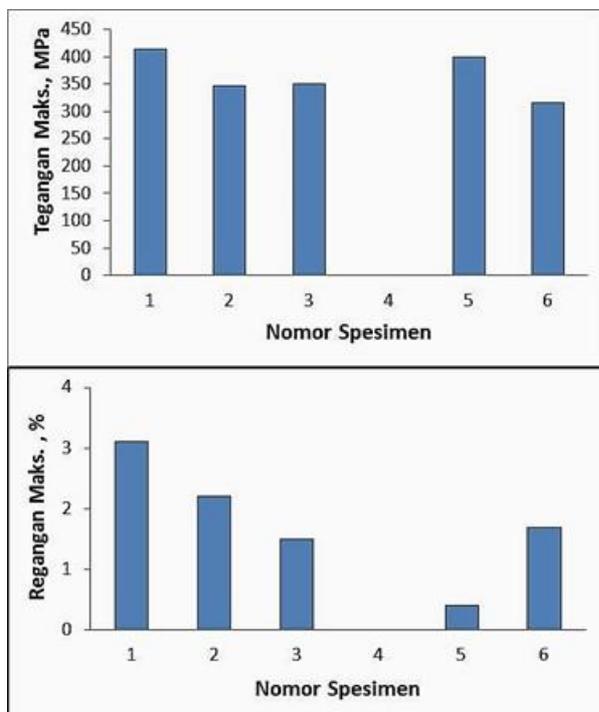
Gambar 4. Kekuatan tarik dan regangan saat putus pada spesimen no hole.



Gambar 5. Kekuatan tarik dan regangan saat putus pada spesimen dengan open hole.

3.2. Pengujian Tekan

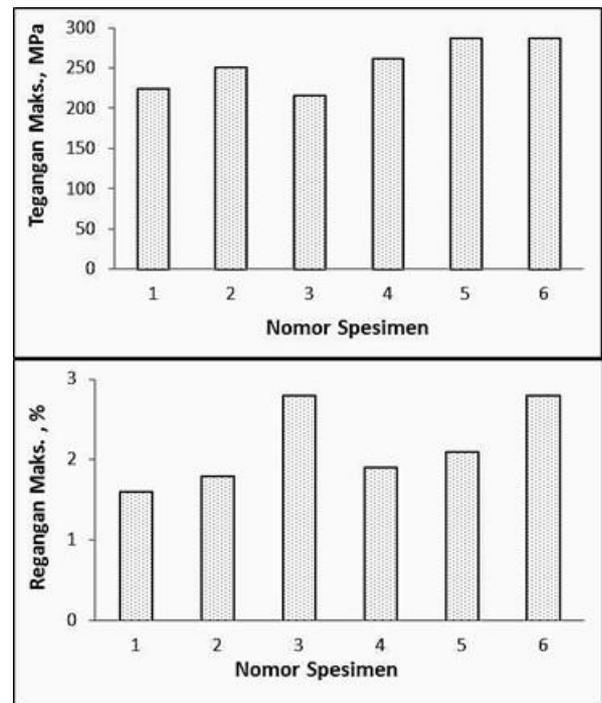
Pengujian tekan pada spesimen tanpa lubang (no hole) pada Gambar 6 memberikan nilai kekuatan tekan dalam rentang 316 – 413 MPa dan rata-rata 365 MPa. Sedangkan regangan saat patah diketahui sebesar 0,4 – 3,1% pada rata-rata 1,8%. Spesimen nomor 4 mengalami kegagalan data, sehingga tidak bisa ditampilkan. Sekilas karakteristik tekan ini mirip dengan tarik, perbedaan kekuatan tekan minimum dan maksimum mendekati 100 MPa. Perbedaan kedua nilai ini terhadap rata-rata juga tidak terlalu besar, menandakan komposit memiliki kualitas yang cukup seragam. Nilai regangan mengkonfirmasi keseragaman komposit.



Gambar 6 Kekuatan tekan dan regangan saat pecah pada spesimen no hole.

Pengujian tekan pada spesimen dengan lubang (open hole) pada Gambar 7 memberikan nilai kekuatan tekan dalam rentang 216 – 287 MPa dan rata-rata 254 MPa. Sedangkan regangan saat patah diketahui sebesar 1,6 – 2,8% pada rata-rata 2%. Sekilas karakteristik tekan ini mirip dengan tarik; pemberian hole membuat perbedaan kekuatan tekan minimum dan maksimum menjadi lebih minimum. Pada kondisi tanpa lubang diperoleh perbedaan harga tegangan tekan sekitar 100 MPa, sedangkan pada open hole sekitar 70 MPa. Perbedaan kedua nilai ini terhadap rata-rata juga tidak terlalu besar, menandakan komposit memiliki kualitas yang cukup seragam. Nilai regangan

mengkonfirmasi komposit relatif sulit dideformasi plastis.



Gambar 7 Kekuatan tekan dan regangan saat pecah pada spesimen open hole.

3.2. Pengujian Geser

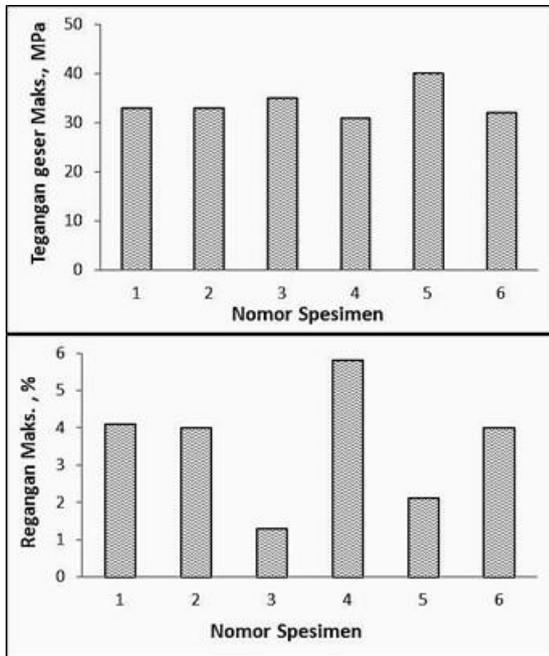
Hasil pengujian geser pada spesimen bisa dilihat pada Gambar 8. Kekuatan geser berkisar antara 31 – 40 MPa dan rata-rata 34 MPa. Sedangkan regangan saat patah diketahui sebesar 1,3 – 5,8% pada rata-rata 3,6%. Deviasi tegangan geser yang sedikit, sekitar 9 MPa menunjukkan bahwa komposit yang dibuat relatif sama/setara satu sama lainnya. Nilai kekuatan geser ini sekitar 10% dari kekuatan tekan, dan sekitar 20% dari kekuatan tarik. Dengan kata lain, di antara ketiga jenis beban, nominal beban geser paling mudah menyebabkan kegagalan pada panel komposit dibandingkan beban tarik maupun tekan.

3.3. Diskusi

Pengujian tarik pada spesimen dengan hole menunjukkan penurunan nilai kekuatan tarik dibandingkan dengan spesimen tanpa hole. Penurunan yang terjadi sekitar 61 MPa, setara dengan sekitar 28%. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Secara mekanis, pemberian hole membuat luas penampang spesimen menjadi berkurang, jika beban yang bekerja sama besar dengan saat tanpa

lubang, maka nilai tegangan akan meningkat. Namun pengujian memberikan data bahwa beban yang bekerja dibawah nominal beban saat tanpa lubang. Di lain sisi, profil lingkaran dari lubang membuat nilai konsentrasi tegangan mendekati nol.



Gambar 8 Kekuatan geser dan regangan geser spesimen komposit

Namun saat terjadi pembebanan dalam waktu yang lama, daerah tepi lubang yang tegak lurus terhadap arah beban akan mengalami sedikit deformasi plastis. Titik yang mengalami perubahan bentuk ini akan mempromosikan peningkatan nilai konsentrasi tegangan, yang akan terus meningkat sejalan dengan pertambahan deformasi plastis. Perubahan kondisi daerah tepi lubang ini, membuat lubang kini berperan sebagai crack starter. Perubahan kontur lubang karena deformasi bisa diamati dengan jelas pada Gambar 9 di bawah. Sehingga masuk akal bahwa keberadaan lubang tidak meningkatkan kekuatan, melainkan akan mereduksi kemampuan material menahan beban. Sejalan dengan karakteristik tarik, kekuatan tekan juga mengalami penurunan akibat penambahan lubang pada center spesimen. Kekuatan tekan turun sebesar 111 MPa, setara dengan 30 %. Penekanan yang melewati titik yield spesimen akan memicu perubahan bentuk dari lubang khusus bagian tepi lubang yang tegak lurus terhadap arah beban. Secara alamiah bagian tepi akan menjadi lebih meruncing/pipih dibandingkan pada bagian tengah yang membentuk kurvatur ellips. Jika pada tarik, retak akan terbuka dengan gaya penarikan, maka pada penekanan retak akan menjalar dengan

menyempitnya kurvatur ellips pada bagian tengah. Penjalaran retak akan dipercepat saling bertemuinya permukaan patah yang baru terbentuk, yang mendorong relaksasi tegangan menjauhi lubang ke arah transversalnya.

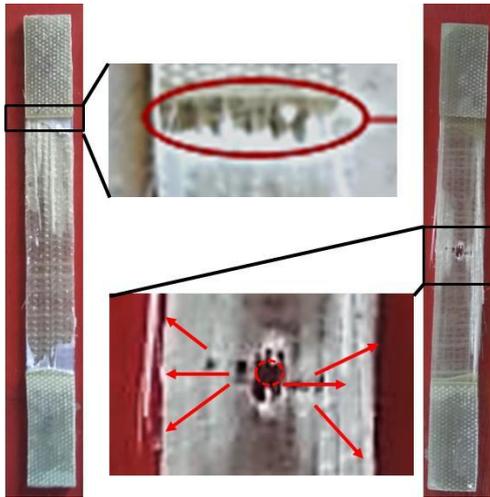
Secara nominal dan persentase telah terbukti bahwa penurunan kekuatan tekan lebih tinggi dari pada kekuatan tarik akibat pengaruh pemberian lubang. Hal ini mengindikasikan bahwa perancang harus memperhatikan penurunan kekuatan tekan secara lebih serius saat merancang sambungan panel komposit berupa mur/baut ataupun keling. Dan tidak boleh dilupakan nilai tegangan geser yang diizinkan.

Selain penurunan kekuatan, keberadaan hole juga memberikan pengaruh perubahan mode patahan dari spesimen uji tarik, seperti yang terlihat pada Gambar 9. Spesimen tanpa lubang umumnya patahan terjadi pada daerah dekat tape, yang digunakan sebagai daerah pegang (undeformed area) pada saat pengujian. Keberadaan hole ternyata menggeser daerah patahan, dimana retak menjalar di tepi hole, dan tegak lurus terhadap arah pembebanan. Area putih menyerabut pada masing-masing specimen merupakan wilayah penjalaran retak, pada perbesaran ditandai dengan anak panah. Menurut *ASTM D3039*, patahan pada spesimen tanpa lubang merupakan jenis patahan *Lateral At grip Top (LAT)*, sementara pada spesimen dengan lubang mengalami *Lateral Gage Middle (LGM)*.

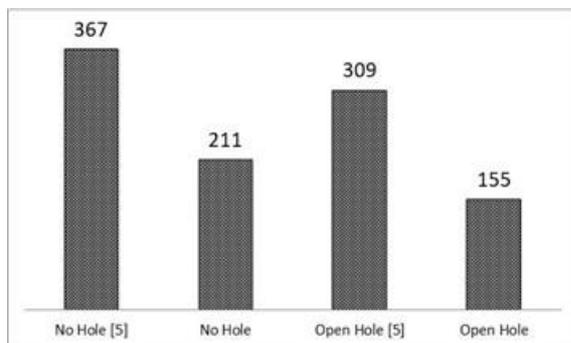
Saat dibandingkan komposit dalam studi ini dengan penelitian sebelumnya [5] yang menggunakan komposisi yang sama dengan sequence yang seragam, komposit sekarang menampilkan nilai kekuatan yang lebih rendah, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 10 dan Gambar 11. Secara nominal penumpukan serat yang seragam memberikan nilai kekuatan rata-rata yang lebih tinggi yaitu 367 MPa, dibandingkan sequence (0°, 90°, 0°) hanya sebesar 211 MPa. Jika melihat komposisi, nilai kekuatan tarik keduanya lebih bagus dari komposit yang dilaporkan oleh S.M. Kumar et al [7]. Penelitian yang sekarang mengalami penurunan kekuatan sebesar 156 MPa, setara 43%. Sedangkan pemberian lubang pada kedua sistem komposit menunjukkan studi ini mengalami penurunan kekuatan sebesar 154 MPa, setara 50%.

Kekuatan tekan komposit sequence seragam juga lebih tinggi dari sequence (0°, 90°, 0°). Pada spesimen tanpa lubang nilai 443 MPa berbanding 365 MPa. Dari sudut pandang sequence, nilai

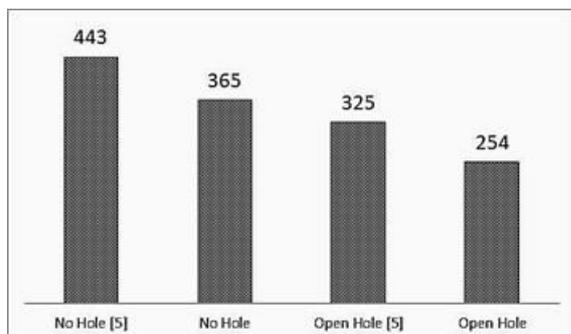
tersebut terdepresi sebesar 78 MPa, setara 18%. Sedangkan pada spesimen dengan lubang terjadi penurunan dari 325 MPa ke 254 MPa, menurun sebesar 71 MPa atau setara 22%. Kekuatan tekan ke empat komposit tidak jauh berbeda dengan komposit yang dilaporkan oleh M Tanoglu et al yang membuat komposit dengan metode ply-lay up dan in-plane direction [8].



Gambar 9 patahan uji tarik spesimen; (kiri) *no hole*, (kanan) *open hole*.



Gambar 10. Perbandingan nilai kekuatan tarik komposit yang dicetak dengan penumpukan seragam dan sequence (0° , 90° , 0°).



Gambar 11. Perbandingan nilai kekuatan tekan komposit yang dicetak dengan penumpukan seragam dan sequence (0° , 90° , 0°).

Secara mekanis, komposit penguat serat saat dibebani arah transversal (tegak lurus arah serat) memberikan perlawanan yang lebih rendah dibandingkan saat dibebani arah longitudinal (sejajar arah serat) [3]. Dalam sistem sequence ini, dapat dikira sequence (0° , 90° , 0°) memiliki titik lemah pada orientasi serat yang diputar 90° dari build direction-nya. Namun penelitian ini tidak bisa menjelaskan mekanisme awal retakan secara jelas dari sistem komposit.

Di sisi lain, kekuatan geser yang dihasilkan dari kedua variasi penyusunan serat relative seimbang; studi ini memberikan tegangan geser rata-rata lebih tinggi yakni sebesar 34 MPa, dibandingkan penelitian sebelumnya sebesar 29 MPa [5]. Tidak terlihat korelasi yang jelas antara kekuatan tarik, tekan dan geser. Dengan kenyataan ini, komposit polyester- E-glass lebih bagus dihand-lay-up dengan penumpukan serat tanpa merubah orientasinya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil poin sebagai berikut:

1. Komposit tanpa lubang memiliki kekuatan tarik dalam rentang 164 – 248 MPa dengan rerata-rata 211 MPa. Sedangkan regangan saat patah diketahui sebesar 3,6 – 4,4% pada rata-rata 4%.
2. Komposit tanpa lubang memiliki kekuatan tekan dalam rentang 316 – 413 MPa dengan rerata 365 MPa. Sedangkan regangan saat patah diketahui sebesar 0,4 – 3,1% pada rata-rata 1,8%.
3. Pemberian lubang menurunkan kekuatan tarik komposit sebesar 61 MPa, 28 %. Rentang kekuatan tarik adalah 135 – 173 MPa dengan rerata 155 MPa. Sedangkan regangan saat patah diketahui sebesar 2,6 – 3,2% pada rata-rata 2,95%.
4. Pemberian lubang menurunkan kekuatan tekan komposit sebesar 111 MPa, 30%. Rentang kekuatan tekan adalah 216 – 287 MPa dengan rata-rata 254 MPa. Sedangkan regangan saat patah diketahui sebesar 1,6 – 2,8% pada rata-rata 2%.
5. Kekuatan geser komposit berkisar antara 31 – 40 MPa dengan rerata 34 MPa. Sedangkan regangan saat patah diketahui sebesar 1,3 – 5,8% pada rata-rata 3,6%.
6. Desain penyambungan komposit harus lebih memperhatikan penurunan nominal kekuatan

tekan yang besar, tanpa mengabaikan kekuatan geser dan kekuatan tarik.

7. Penyusunan serat dengan sequence (0° , 90° , 0°) terbukti memberikan nilai kekuatan tarik dan tekan lebih rendah dibandingkan penyusunan serat secara seragam. Perbedaan kekuatan tarik sebesar 43%, 50%, sedangkan kekuatan tekan berbeda sebesar 18%, 22% pada kondisi tanpa lubang dan dengan lubang.

ACKNOWLEDGEMENT

Sebagian besar pengambilan data penelitian ini dilaksanakan di Pustekbang LAPAN Rumpin Bogor. Terima kasih banyak atas bantuan teknis pengambilan data dari pihak terkait di LAPAN.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C.O. Ijagbemi et al., "Design and simulation of fatigue analysis for a vehicle suspension system (VSS) and its effect on global warming," *Procedia Engineering*, Vol. 159 pp. 124 – 132, 2016
- [2] A.N. Oumer et al., "Bio-based liquid fuels as a source of renewable energy: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 88, pp. 82-98, 2018
- [3] W.D. Callister, "Materials science and engineering : an introduction," John Wiley & Sons, Inc., 2007
- [4] A.S. Budiyantra et al., "Engineering Development of Lapan Surveillance UAV-02 (LSU-02)," APISAT-2013.
- [5] Ilhamdi et al. "Karakteristik Fisik dan Mekanik Komposit *Polyester* Serat *E-Glass* dengan Keberadaan Open Hole pada Center," Penelitian Mandiri JTM FT-Unand, 2019.
- [6] K. Diharjo, "Kajian Pengaruh Teknik Pembuatan Lubang Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Hibrid Serat Gelas Dan Serat Karung Plastik," Universitas Sebelas Maret, SOLO Vol. 11, 2006.
- [7] S.M. Kumar et al., "Development of E-Glass Woven Fabric / Polyester Resin Polymer Matrix Composite and Study of Mechanical Properties," *Materials Today: Proceeding* Vol. 5 Issue 5 part 2 pp 13367-13374, 2018.
- [8] M. Tanoglu et al., "Compressive mechanical behaviour of E-glass/polyester composite laminates tailored with a thermoplastic preforming binder," *Materials Science and Engineering: A* Vol. 363, Issues 1–2, pp. 335-344, 2003