



Kekuatan tarik sambungan paku keling tunggal pada komposit polypropylene hibrida laminasi serat goni/gelas

Tension strength of single rivet joint on polypropylene composites laminate hybrid goni/glass fibers

I.D.G Ary Subagia^{*1}, A.H. Yuwono², I.G.A.K.C. Adhi³

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana (UNUD), Kampus Bukit Jimbaran, Badung (80361), Bali. HP.+6281353651467

²Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok 16424 Jawa Barat

³Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jln. Majapahit No 62 Mataram, Nusa Tenggara Barat, 83125, Indonesia
Email; arsubmt@me.unud.ac.id

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 3 February 2019

Accepted 25 June 2019

Available online 1 July 2019

Keywords:

Tensile strength

Rivet

Composites

Hybrid



This research is to investigate the tensile strength of hybrid composite with lamination of goni and glass fiber reinforced on single rivet joint. Four variant of goni and glass fiber lamination on single lap-joint by rivet were manufactured and the goni fiber reinforced polypropylene composite [G_3] and glass fiber reinforced polypropylene composite [$G5$] also produced for control. The specimen was fabricated through hot-press on temperature of 200 °C as long as 60 min. The strength of rivet joint has been tested on tension machine with load 5000 (N) and cross head speeds is 1 mm/min. The research purpose is to investigate tension strength of riveted single lap-joint on hybrid composites based on the fibers laminate variation. The tension test result of each variation of hybrid composites shown as follow; The average value of tension strength of hybrid composite (H_1) shows the high value is 10,179 MPa with elastic of modulus is 3,867 (MPa). Meanwhile, the average value of hybrid composite H_2 , H_3 , and H_4 have tension strength relatif similar i.e; 7,88 (MPa), 7,792 (MPa), and 7,84 (MPa) that positioned between the composites [G_3] and [G_5]. The laminate stacking of fibers is influencing of the strength and elastic of modulus of hybrid composites.

Dinamika Teknik Mesin, Vol. 9, No.2, Juli 2019, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

1. PENDAHULUAN

Komposit telah menjadi primadona dan secara luas diaplikasikan pada produk keteknikan saat ini karena mereka memiliki kekakuan spesifik (*specific stiffness*) dan kekuatan (*strength*) yang tinggi, tahan korosi, sifat kestabilan dimensi yang baik, ringan dan murah, Sezgin dan Berkalp (2018),

sehingga banyak diaplikasikan pada pesawat terbang, kendaraan bermotor, kapal boat dan peralatan olah raga, Nurazzi dkk. (2017). Saat ini material komposit sangat meningkat diaplikasikan pada peralatan militer dan konstruksi sipil, Kaliraj dkk. (2014). Komposit material secara struktur terdiri dari penggabungan serat sebagai penguat dan matrik sebagai pengikat, Jones dan Robeet (1999), Rajmohan dkk. (2016). Tipe penguat dan pengikat sangat berpengaruh pada sifat mekanis maupun fisik komposit tergantung pada kebutuhan aplikasi. Serat karbon, gelas, aramid, kevlar, nylon adalah jenis serat sintetik yang cukup luas digunakan sebagai penguat, karena stabil dalam geometri. Namun, banyak dilaporkan bahwa komposit dengan penguat sintetik adalah mahal dan sulit didaur ulang, sehingga berdampak negatif terhadap lingkungan, Hariharan dkk. (2017). Sejalan dengan hal tersebut, sejak sepuluh tahun terakhir, pemerintah dengan regulasinya telah mendorong pemanfaatan bahan alami diantaranya serat goni, pisang, nenas, ata dan lain sebagainya, sebagai penguat maupun matrik. Akan tetapi, sifat mekanis penguat alami masih lebih rendah daripada penguat sintetik, Hariprasad dkk. (2013). Saat ini, hibridisasi penguat dan atau matrik antara organik-inorganik menjadi yang paling banyak dikembangkan, Chandramohan (2014), Pickering dkk. (2016). Komposit hibrida telah diaplikasikan sebagai bodi kendaraan bermotor paling banyak, karena mudah dalam proses *assembly*. Penyambungan bahan adalah pekerjaan yang paling banyak dilakukan untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan.

Penyambungan merupakan proses penting yang dilakukan pada tahap *assembly*, yang mana penyambungan dapat dilakukan dengan menggunakan las, baut dan paku keling. Dari sekian banyak metode penyambungan, penggunaan paku keling telah umum dilakukan terutama pada penyambungan bahan – bahan tipis, Lee dan Ahmad (2016). Sambungan paku keling digolongkan sebagai sambungan tetap. Sambungan keling banyak diaplikasi pada konstruksi kendaraan dan pesawat terbang. Saat ini, dengan era material komposit pada konstruksi permesinan, sambungan menjadi suatu *phenomena* yang sangat penting disebabkan oleh sifat dari bahan komposit yang berbeda beda dan umumnya bersifat getas. Beberapa hasil eksperimen terhadap sambungan paku keling pada bahan komposit telah dilakukan, Senguttuvan dan Lillymercy (2015), Rajmohan dkk. (2016), Sezgin dan Berkalp (2018). Dijelaskan juga oleh Hariharan dkk. (2017) bahwa pengujian tarik adalah metode yang sangat penting dalam menentukan mode kegagalan dalam komposit. Sejalan dengan itu untuk mengetahui kekuatan tarik dari material komposit dengan sambungan paku keling. Maka sangat perlu untuk dilakukan kajian.

Penelitian ini difokuskan pada sambungan tunggal pada material komposit hibrida dengan penguat serat jute dan serat gelas pada matrik *polypropylene (PP)* menggunakan paku keling. Laminasi serat dirancang berdasarkan susunan urut serat (*stacking sequences*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menginvestigasi pengaruh laminasi susun urut terhadap pembebanan tarik. Uji tarik dilakukan untuk memperoleh kekuatan tarik dan modulus elastisitas sambungan. Sedangkan kegagalan pembebanan tarik diujikan dengan menggunakan SEM untuk mengetahui fenomena patahan yang terjadi setelah pembebanan tarik.

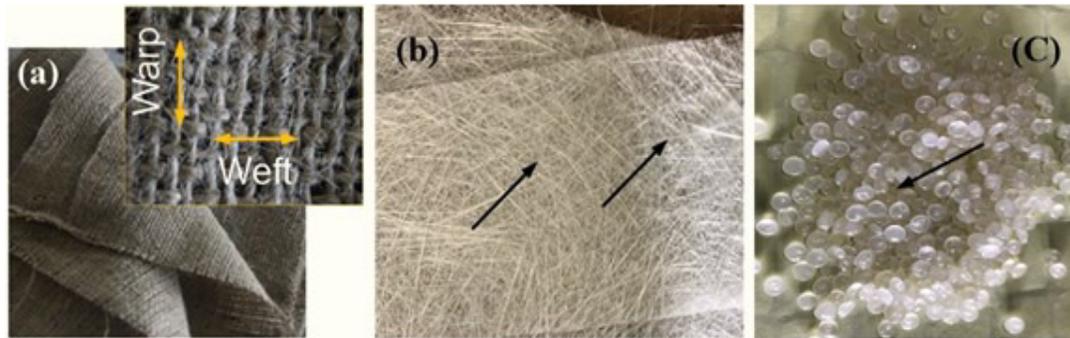
2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan

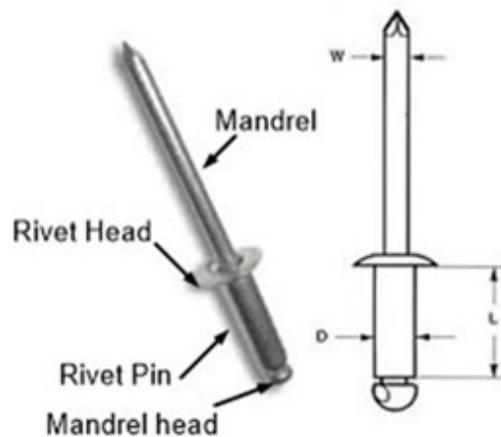
Pada penelitian ini dua jenis serat yaitu serat gelas dan serat goni telah digunakan sebagai penguat. Kedua serat memiliki perbedaan struktur yaitu serat goni berbentuk anyaman datar dan serat gelas adalah anyaman *chop* seperti diilustrasikan pada gambar 1a dan gambar 1b. Kemudian, matrik *thermoplastic* yaitu *Polypropylene (PP)* digunakan seperti ditunjukkan pada gambar 1c. Tabel 1 mengilustrasikan karakteristik serat goni dan serat gelas dan PP.

Tabel 1. Karakteristik serat penguat dan matrik

| Item | Serat goni | Serat gelas | <i>Polypropylene</i> |
|------------------------------|------------|-------------|----------------------|
| Density (g/cm ³) | 1,5-1,56 | 2,5 | 0,895-0,92 |
| Young modulus (GPa) | 60-128 | 72,4 | 1,3-1,8 |
| Tensile strength (MPa) | 400-1000 | 2000-3500 | 35-40 |
| Elongation at Break (%) | 1,2-3,8 | 2,5 | 150-600 |



Gambar 1 a. Anyaman serat goni, b. anyaman serat gelas, c. *polypropylene*



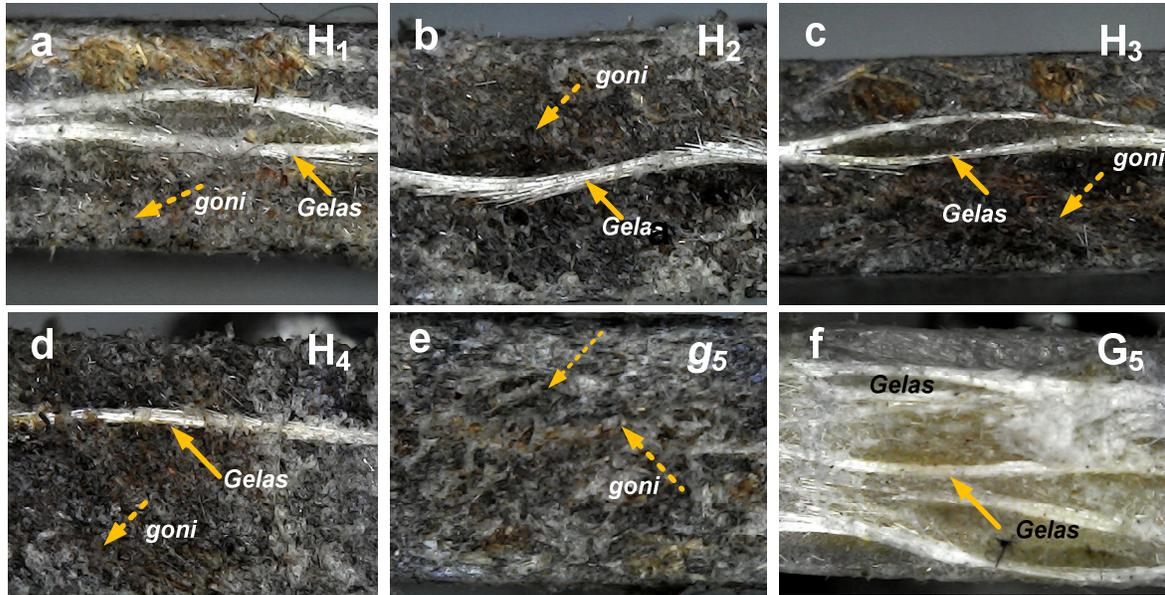
Gambar 2. Geometri paku keling

2.2. Proses manufaktur

Benda uji dicetak pada cetakan panas (*hot press*) pada temperatur 200 (°C) selama 60 (menit) dan ditekan pada beban 30000 (N) ditunjukkan pada gambar 3. Serat penguat disusun secara urut (*laminata sequence*) pada cetakan dengan konfigurasi diilustrasikan seperti tabel 2. Perbandingan antar serat goni dan serat gelas didasarkan pada prosentase fraksi berat yaitu 60 (wt.%) serat goni dan 40 (wt.%) serat gelas. Kemudian benda kerja dipotong menggunakan *diamond cutter* dan dilubangi menggunakan bor berdiameter 4 (mm). Penampang potongan untuk laminasi susun urut antara serat goni dan gelas diilustrasikan seperti gambar 4.



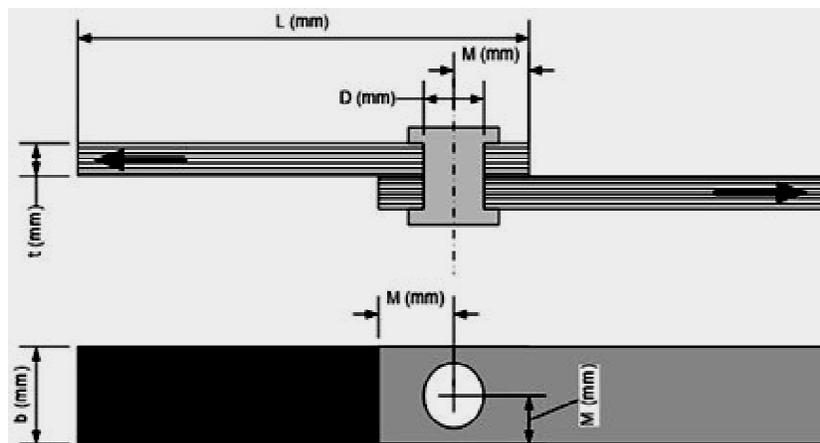
Gambar 3. Pencetakan sampel menggunakan *Hot-press*



Gambar 4. Penampang laminasi serat komposit hibrida hasil pemotongan

Tabel 2. Variasi laminasi serat penguat komposit hibrida dan geometri sambungan

| Sample | Kode | Laminasi | | Geometri sampel | | | |
|-------------|---------|-----------------|----------------|-----------------|-------------|-------------------|-------------------|
| | | ■ : Serat Gelas | ▨ : Serat Goni | Rasio W/d | Rasio e/d | Dia. lubang (mm) | Tebal (mm) |
| Gelas | $[G_5]$ | ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ | | 4,39 | 2,35 | $4,46^{\pm 0,01}$ | $7,97^{\pm 0,01}$ |
| $g_1G_3g_1$ | H_1 | ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ | ■ ■ ■ ■ ■ | 4,37 | 2,35 | $4,46^{\pm 0,01}$ | $7,48^{\pm 0,01}$ |
| $g_2G_1g_2$ | H_2 | ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ | ■ ■ ■ ■ ■ | 4,36 | 2,34 | $4,46^{\pm 0,01}$ | $7,86^{\pm 0,01}$ |
| $g_2G_2g_1$ | H_3 | ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ | ■ ■ ■ ■ ■ | 4,36 | 2,34 | $4,46^{\pm 0,01}$ | $7,56^{\pm 0,01}$ |
| $g_3G_1g_1$ | H_4 | ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ | ■ ■ ■ ■ ■ | 4,36 | 2,34 | $4,46^{\pm 0,01}$ | $7,74^{\pm 0,01}$ |
| gony | $[g_5]$ | ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ | | 4,36 | 2,34 | $4,46^{\pm 0,01}$ | $7,75^{\pm 0,01}$ |



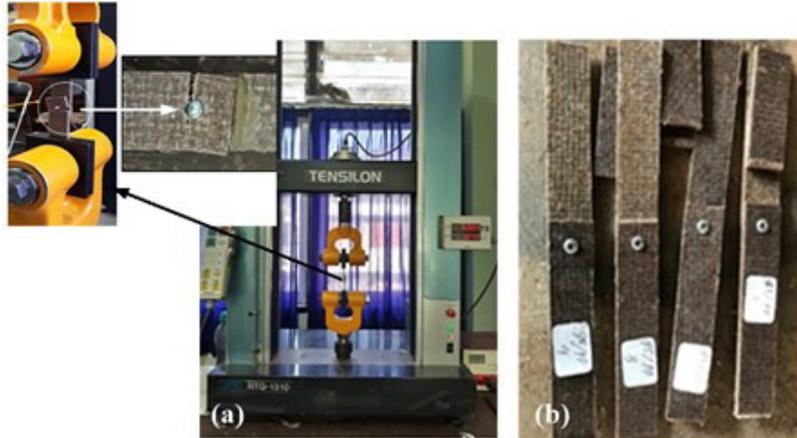
Gambar 5. Geometri sambungan paku keling

Gambar 5 mengilustrasikan sambungan tunggal (*single lap joint*) komposit hibrida dengan paku keling tunggal. Pada gambar dijelaskan, “ D ” (mm) adalah diameter lubang paku keling, “ M ” adalah margin yaitu jarak antara pusat paku keling terhadap bagian sisi dari plat arah diagonal maupun

lateral (mm). “*t*” adalah tebal plat (mm) dan “*b*” lebar plat (mm). Geometri dari sambungan paku keling pada komposit hbrida seperti dilustrasikan pada tabel 2.

2.3. Pengujian Tarik (*Tensile*)

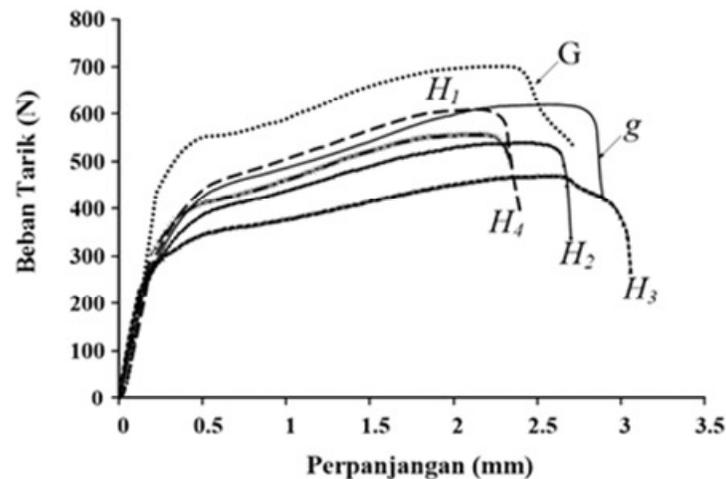
Pengujian tarik dilaksanakan menurut standar ASTM D-638 menggunakan mesin uji tarik EPSILON pada *cross-head speed* konstan 1 (mm/min) dengan beban 5000 (N) seperti ditunjukkan pada gambar 6a. Pengujian setiap variasi dilakukan sebanyak 5 kali dengan sampel ditunjukkan seperti pada gambar 6b.



Gambar 6 a. Uji tarik, b. sampel uji tarik dengan sambungan keling

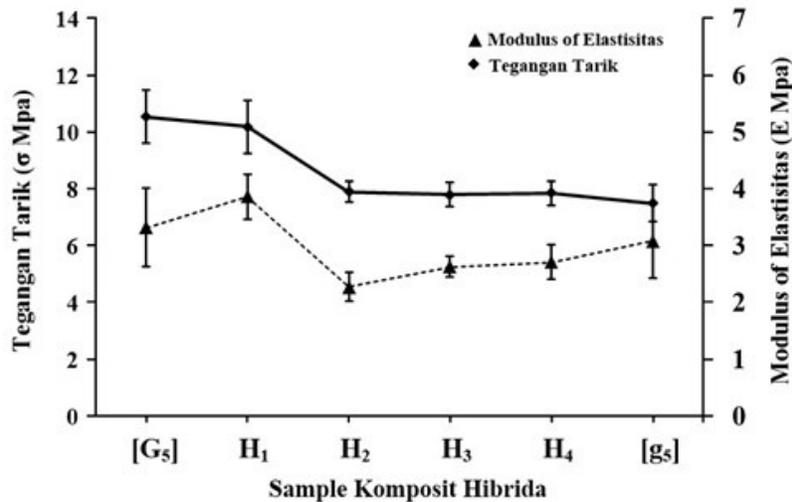
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Tegangan tarik sambungan tunggal paku keling komposit hibrida



Gambar 7. Hubungan pembebanan dan perpanjangan uji tarik komposit hibrida sambungan tunggal dengan paku keling

Gambar 7 menunjukkan karakteristik sambungan paku keling tunggal pada material komposit hibrida (H_1 , H_2 , H_3 dan H_4) dan komposit dengan penguat serat gelas dan jute ($[G_5]$ dan $[g_5]$). Trend kenaikan slop elastis saat pengujian tarik terjadi pada setiap variasi komposisi dari sample. Sementara, karena perbandingan lebar dan diameter (W/d) yang besar berdampak pada kegagalan mekanis pada sambungan. Selanjutnya, karakteristik plastis yang terjadi pada pengujian tarik dari sambungan adalah disebabkan karena sifat *ductile* dari bahan paku keling. Sehingga perpanjangan yang terjadi adalah relative panjang yaitu rata – rata sebesar 2 hingga 3 (mm/mm).



Gambar 8. Hubungan tegangan tarik, modulus elastisitas dengan sample komposit hibrida

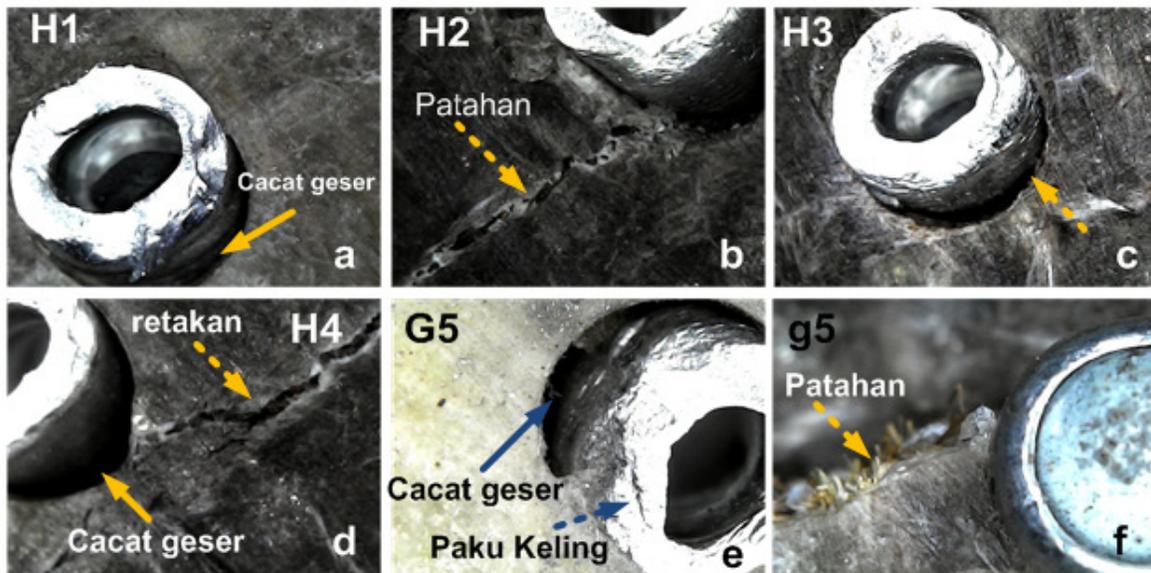
Tegangan Tarik merupakan sifat mekanis yang dimiliki oleh setiap material, terlebih untuk sambungan, yang mana sifat ini akan menunjukkan kemampuan terhadap beban dengan arah longitudinal. Hubungan tegangan tarik dan *modulus of elasticity* dari masing-masing sambungan komposit hibrida ditunjukkan seperti oleh gambar 8. Beberapa pengamatan dari peneliti sebelumnya menunjukkan bahwa efek *coupling* dari laminasi mempengaruhi defleksi dan tegangan karena adanya pengaruh sudut dari serat (Santosh dkk., 2015). Selain itu dijelaskan bahwa peningkatan *overlap* pada sambungan dapat meningkatkan tegangan tarik (*tensile stress*), Hariharan dkk. (2017), Senguttuvan dan Lillymercy (2015). Pada pengujian yang dilakukan dan mengamati grafik pada Gambar 8 dapat dijelaskan bahwa komposit [G₅] memiliki tegangan tarik yang paling tinggi yaitu sebesar 10,5 MPa. Sebaliknya untuk komposit [g₅] memiliki tegangan tarik sebesar 7,485 (MPa). Dari nilai tegangan yang diperoleh antara [G₅] dan [g₅] adalah sebesar 28,947%. Kemudian modulus of elastisitas dari komposit [G₅] dan [g₅] adalah sebesar 3,315 MPa dan 3,083 MPa, masing-masing dengan selisih 7%.

Tegangan tarik dan *modulus of elasticity* dari komposit dengan variasi laminasi serat gelas dan serat goni dapat diamati bahwa laminasi dengan posisi serat gelas pada inti komposit (H₁) memberikan nilai tegangan tarik yang paling tinggi diantara variasi yang diuji, sebesar 10,179 MPa. Dengan modulus elastisitas sebesar 3,867 (MPa). Kemudian, rata – rata nilai tegangan tarik dari komposit hibrida H₂, H₃ dan H₄ adalah relatif sama yaitu 7,88 MPa, 7,792 MPa, dan 7,84 MPa dan berkisar di antara tegangan tarik komposit [G₅] dan [g₅]. Selanjutnya untuk modulus elastisitas dari H₂, H₃ dan H₄ adalah rata-rata 2,53 MPa. Pada kajian ini juga didapatkan bahwa faktor diameter lubang paku keling juga sangat berpengaruh karena menimbulkan adanya konsentrasi tegangan pada daerah keling. Dimana, apabila pembuatan yang kurang baik menurunkan tegangan tarik dari material. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengujian tarik untuk sambungan tunggal paku keling pada material komposit hibrida (laminasi susun urut) serat goni dan gelas sangat berpengaruh pada kekuatan tarik dan meningkatkan keuletan (*ductility*) material.

3.2. Karakteristik patahan sambungan paku keling tunggal komposit hibrida

Gambar 9 menunjukkan bentuk patahan dari paku keling pada sambungan komposit hibrida setelah dibebani tarik. Pengaruh beban tarik pada daerah lubang terjadi patahan karena deformasi paku keling, yangmana menyebabkan pelonggaran ikatan. Diamati pada gambar 9 a, b, c, d e kerusakan sambungan paku keling terjadi disebabkan karena beban geser (*Shearing of the rivets*). Bentuk kerusakan ditunjukkan oleh munculnya cacat *delaminasi* dan retakan (*crak*) pada daerah lubang. Kemudian untuk komposit hibrida variasi H₂, H₄ (lihat gambar 9b dan d), robek pada garis sumbu lubang paku keling dan bersilangan dengan garis gaya (*Tearing of the plate a cross a row of rivets*). Begitu pula G5 robek pada bagian pinggir dari plat yang disebabkan oleh margin (m) kurang dari 1.5 d (*Tearing of the plate at ende*) (lihat gambar 9f). Hasil ini dicapai juga dalam penelitian yang dilakukan oleh (Sire dkk., 2015).

Patahan karena tarik dari paku keling terjadi menyeluruh dengan bentuk permukaan patahan tidak rata disebabkan oleh bahan *aluminium* memiliki sifat *ductile* ditampilkan seperti pada gambar 9a dan 9e.



Gambar 9. Patahan paku keling pada sambungan komposit hibrida setelah perlakuan tarik

4. KESIMPULAN

Pengujian tarik untuk material komposit hibrida dengan laminasi susun urut serta goni dan gelas yang disambung tunggal menggunakan paku keling telah dilakukan untuk setiap variasi komposit hibrida. Pengujian telah dilaksanakan pada mesin uji tarik dengan beban 5000 N pada kecepatan *cross head* 1 mm/min berdasarkan standar ASTM D-638. Hasil pengujian tarik dari masing – masing variasi komposit hibrida ditunjukkan sebagai berikut; komposit (H₁) memberikan nilai tegangan tarik sebesar 10,179 MPa, dengan modulus elastisitas sebesar 3,867 MPa. Rata – rata nilai tegangan tarik dari komposit hibrida H₂, H₃ dan H₄ adalah relatif sama yaitu 7,88 MPa, 7,792 MPa, dan 7,84 MPa dan berkisar diantara tegangan tarik komposit [G₅] dan [g₅]. Dari hasil uji disimpulkan bahwa laminasi susun urut hibrida serat memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan tegangan tarik dan modulus elastisitas tarik. Kemudian, kekuatan sambungan paku keling sangat tergantung pada perbandingan lebar dan diameter (*W/d*). Hal ini mengakibatkan konsentrasi tegangan di daerah lubang, sehingga mempengaruhi sifat tegangan material komposit. Berdasar kajian tersebut maka Komposit hibrida dengan laminasi susun urut antara serat goni dan serat gelas sangat memungkinkan digunakan sebagai bahan alternatif pengganti material logam dalam pembentukan konstruksi kendaraan, sehingga bobot kendaraan menjadi ringan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Mengucapkan terimakasih kepada KEMENRISTEKDIKTI dan LPPM Universitas Udayana atas pendanaan yang telah diberikan melalui kontrak No. 451.79/UN14.4.A/PL/2018.

DAFTAR PUSTAKA

- Chandramohan D., 2014, Studies on natural fiber particle reinforced composite material for conservation of natural resources *Advances in Applied Science Research*, 5 (2),305-315.
- Hariharan E.,Amutheesan.,Vinayagam G.M.,Stalin I.,Rajkumar G., 2017, Testing and analysis of composite materials under tensile loading with different lap joints, *Internatinal Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 6 (10),126-134.
- Hariprasad T.,Dharmalingam G., Raj P.P., 2013, Study of mechanical properties of banana-coir hybrid composite using experimental and fem techniques, *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 4,518-531.

- Jones, Robeet M., 1999, Mechanics of composite materials, United States of America, Taylor & Francis
- Kaliraj M., Narayanasamy P., Rajkumar M., Mohaideen M.M., Manickam I.N., 2014, Design, fabrication and analysis of advanced polymer based kevlar-49 composite material, Applied Mechanics and Materials, 592-594,122-127.
- Lee L.S., Ahmad H., 2016, Experimental strength of single-lap hybrid joints on woven fabric kenaf fiber composites under quasi static condition, MATEC Web of Conferences, 47,02003.
- Pickering K.L., Efendy M.G.A., Le T.M., 2016, A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 83,98-112.
- Rajmohan M., Balachandar M., Kasinathan D., 2016, Analysis of lap joints in composite materials, Indian Journal of Science and Technology, 9 (48).
- Sezgin H., Berkalp O.B., 2018, Improvement of mechanical properties of jute/e-glass fabric reinforced hybrid composites. Materials Science and Engineering, IOP Conference Series, 012-049.
- Senguttuvan N., Lillymercy J., 2015, Joint strength analysis of single lap joint in glass fiber composite material, International Journal of Applied Engineering Research, 10 (7),16535-16545.
- Sire S., Mayorga L.G., Plu B., 2015, Observation of failure scenarios in riveted assemblies: An innovative experimental strategy, Procedia Engineering, 114,430-436.