

PENGARUH JARAK SUSUN LAPISAN PENGUAT KOMPOSIT SERAT DAUN NANAS / TERMOPLASTIK PADA PEMBENTUKAN DELAMINASI

Zulkarnain¹, Ismet Hari Mulyadi¹, Mochamad Asrofi²

¹Departemen Teknik Mesin, Universitas Andalas, 25163, Padang, Sumatera Barat, Indonesia;
²Departemen Teknik Mesin, Universitas Jember, kampus Tegalboto, Jember 68121, Jawa Timur, Indonesia

Email: zulk.nain999@yahoo.com¹, ismet@eng.unand.ac.id²

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh posisi jarak serat penguat dalam laminasi komposit pada pembentukan delaminasi. jarak serat penguat yang dipilih adalah 1 mm, 2 mm dan 3 mm dalam laminasi komposit dari matriks polimer etilen vinil asetat (EVA) dengan serat penguat dari daun nanas. Metode yang digunakan dalam fabrikasi komposit adalah *hand lay-up*, yaitu dengan pengecoran langsung pada tiga lapisan serat yang telah dianyam dan diikat ke sisi cetakan. Untuk kecepatan potong, V_f 144 mm / min, menggunakan pahat bor berdiameter 4 mm dengan sudut pahat 70°. Delaminasi ditentukan dengan metode F_{eda} . Bagian delaminasi diamati menggunakan mikroskop digital dan kemudian diproses menggunakan AutoCAD untuk mengukur D_{max} dan A_d . Rasio delaminasi pada lubang atas untuk jarak 1 mm, 2 mm dan 3 mm masing-masing adalah 1,417, 1,362 dan 1,324 untuk lubang bawah adalah 1,114, 1,098 dan 1,076.

Kata kunci: Delaminasi; komposit laminasi; *etilena vinil asetat*; serat daun nanas; proses penggurdian.

Abstract

This study aims to determine the effect of the position of the reinforcement distance in the composite laminate on the formation of delamination. The variations of reinforcement distance are 1 mm, 2 mm dan 3 mm in the composite laminate of the matrix polymer ethylene vinyl acetate (EVA) with reinforcement of pineapple leaf fiber (PLF). The method used in composite fabrication is *hand lay-up*, which is by direct casting on three layers of fiber that have been arranged and tied to the side of the mold with a woven roving arrangement. For cutting speed, V_f 144 mm/min, using diameter tool of 4 mm with tool angle 70°. The delamination is determined by F_{eda} method. The delamination section was captured using a digital microscope and then processed using the AutoCAD to measure D_{max} and A_d . The delamination ratio entrance for distance of 1 mm, 2 mm and 3 mm are 1,417, 1,362 and 1,324, for delamination ratio exits are 1,114, 1,098 and 1,076. This delamination calculation of laminate composites is probably suggested for manufacturing process in terms of composite processing.

Keywords: Delamination; laminate composites; ethylene vinyl acetate; pineapple leaf fiber; drilling process

1. PENDAHULUAN

Material komposit memiliki keunggulan tertentu seperti kekuatan mekanik yang baik, kepadatan rendah, sifat mampu bentuk, dan ketahanan terhadap korosi. Penggunaan material komposit di berbagai industri telah berkembang seperti peralatan rumah tangga, komponen pesawat, dan *dashboard* otomotif. Umumnya material komposit terdiri dari dua komponen yaitu matriks dan serat [1].

Akhir-akhir ini, menggunakan serat sintetis sebagai penguat komposit telah ditinggalkan

karena sifatnya yang tidak ramah lingkungan dan mahal. Berbagai peneliti melaporkan bahwa serat alami merupakan terobosan untuk penguatan komposit. Keuntungan dari serat alami adalah kekuatan mekanik yang baik, harga rendah, dan ketersediaan berlimpah di alam [2]. Penelitian sebelumnya telah melaporkan bahwa serat eceng gondok [3], tandan kosong kelapa sawit [4], aren [5], rami [6], dan serat nanas [7] digunakan sebagai alternatif komposit untuk aplikasi *dashboard otomotif*, peralatan rumah tangga dan kemasan makanan.

Di antara serat alami ini, serat daun nanas memiliki kelebihan tersendiri, yaitu kandungan selulosa yang relatif tinggi. Selain itu, serat daun nanas adalah limbah, sehingga pemanfaatannya berpotensi memberikan nilai tambah ekonomis [8]. Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa serat daun nanas setelah dirawat dengan natrium hidroksida efektif dalam memperkuat komposit matriks polimer [9].

Aplikasi lain dari komposit serat alami adalah dalam proses penyambungan mekanis. Untuk alasan ini, persiapan dalam proses menggabungkan produk dari bahan komposit sebagian besar menggunakan proses penggurdian. Material komposit memiliki beberapa perbedaan dengan logam yaitu *homogenitas* dan bukan *isotropik*. Ini sangat mempengaruhi kualitas lubang yang dihasilkan pada saat penggurdian. Kualitas ini biasanya tidak mampu direproduksi dan fenomena delaminasi sering dijumpai [10]. Oleh karena itu, kami mengamati efek jarak lapisan serat penguat pada pembentukan delaminasi dari matriks EVA termoplastik yang diperkuat komposit PLF. Komposit testis dihitung dengan persamaan delaminasi untuk menentukan rasio delaminasi. Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop untuk mengamati morfologi setelah proses penggurdian.

2. BAHAN DAN METODE

A. Bahan

PLF diperoleh dari kebun nanas yang berlokasi di Bengkalis, Riau, Indonesia. komposisi selulosa adalah 55-60%. PLF ini memiliki kepadatan 1,526 gr / cm³, kekuatan tarik 170 MPa dan modulus young 6210 MPa. EVA dibeli dari PT. Outletz Worldwide Indonesia, Jakarta, Indonesia. Kepadatan dan titik leleh EVA adalah 0,935 gr / cm³ dan 87 °C. Kekuatan tarik saat putus adalah 11 MPa. Pereaksi kimia lainnya seperti kadar teknis natrium hidroksida dibeli dari PT. Brataco, Padang, Indonesia.

B. Metode

Penelitian ini adalah penelitian eksperimental, Penelitian eksperimental bertujuan untuk mengungkapkan hubungan sebab akibat antar variabel bebas dengan memanipulasi variabel prosesnya. Pengaturan variabel proses pada mesin gurdi dirujuk dari penelitian-penelitian sebelumnya. variabel proses yang dipilih pada penelitian ini yaitu konstan pada Vf=144, diameter pahat (d=4 mm), sudut ujung pahat 70° menggunakan pahat gurdi *twist drill coating cobalt*. maka skema pengambilan data akan mengikuti pola seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi jarak lapisan serat nanas dalam komposit laminasi yang diukur dari permukaan atas dan bawah laminasi. Variasi jarak yang dipilih, yaitu 1 mm, 2 mm dan 3 mm. Agar data yang didapatkan bisa dikatakan valid maka setiap unit percobaan dilakukan 10 kali penggurdian sehingga akan ada 30 x penggurdian untuk 3 variasi jarak.

Table 1 Rancangan percobaan

variabel proses	Trial	Jarak lapisan (mm)	Pengulangan					F _{eda}
			1	2	3	4	5	
Vf=144, d = 4 mm, 2κr=70°	1	1						
		2						
		3						
	2	1						
		2						
		3						

Perencanaan material dengan variasi lapisan jarak yang berbeda dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Perencanaan variasi lapisan jarak penguat pada material

1) *Persiapan PLF*

PLF dibersihkan dengan air suling tiga kali. Kemudian, dikeringkan pada suhu kamar selama dua hari. Setelah itu, direndam dalam

larutan natrium hidroksida 5% selama 30 menit dan kemudian dibilas dengan air suling untuk menghilangkan larutan alkali. PLF dirajut dengan orientasi silang 90°. Pemilihan orientasi ini didasarkan pada pertimbangan untuk mengurangi pembentukan delaminasi. Kemudian, itu digabungkan sebanyak tiga lapisan (jarak yang bervariasi). Bahan komposit membentuk kolom *slab* 250 mm × 100 mm × 25 mm. Fraksi volume antara serat dan bahan uji pembentuk harus memenuhi persentase tidak lebih dari 30% serat penguat.

2) Persiapan EVA Matriks

EVA resin polyester dimasukkan ke wadah tahan panas. Kemudian, dipanaskan pada 150 °C selama ± 30 menit sampai melebur dalam wadah yang diletakkan dalam oven.

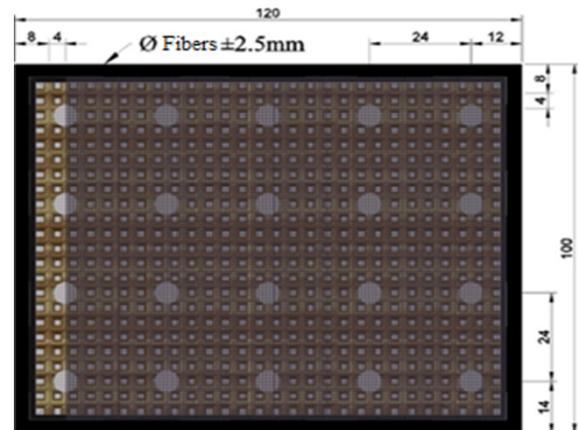
3) Fabrikasi Komposit

Setelah resin meleleh selanjutnya dituangkan ke dalam cetakan, lalu ratakan untuk mengisi setiap sudut cetakan. kemudian cetakan yang sudah diisi dimasukkan kembali ke dalam oven sampai resin meresap dan mengisi ke kesetiap celah serat penguat dan memenuhi dasar cetakan dibutuhkan 10-15 menit. Setelah cairan resin jatuh ke bagian bawah lapisan dasar, bagian atas cetakan akan kembali kosong. Tuang resin lagi sampai memenuhi cetakan, langkah ini perlu dilakukan beberapa kali tergantung pada ketebalan bahan yang diuji. Setelah bahan mengeras, buka cetakan dari bahan uji dengan memotong konektor cetakan dan memotong serat yang mengikat antara sisi cetakan dan sisi bahan yang diuji. Setelah bahan yang diuji dipisahkan dari cetakan kemudian dipotong menjadi dua bagian dan dipotong pada setiap sisi bahan yang diuji sesuai dengan ukuran yang digunakan, yaitu 120 mm × 100 mm. Akhirnya, siap untuk karakterisasi.

4) Proses Penggurdian

Bahan komposit disiapkan untuk proses penggurdian. Proses ini dilakukan dengan menggunakan mesin CNC *Emco Concept Mill 55*. Pada Gambar II menunjukkan perencanaan

penggurdian bahan yang di uji seperti jarak pusat lubang dan jumlah penggurdian bahan yang di uji.



Gambar 2. Perencanaan proses penggurdian pada material komposit yang diuji

5) Pengukuran rasio delaminasi

Pengambilan *Capture* dan pengukuran diameter lubang menggunakan mikroskop. Proses langsung dilakukan setelah penggurdian selesai. Hasil *capture* dari setiap lubang nantinya akan *diinsert* ke program *Auto-Cad*. Melalui program ini pengukuran dilakukan, yaitu dengan penyesuaian skala gambar dengan dimensi sebenarnya, baik itu pada lubang sisi masuk maupun lubang sisi keluar pahat. Gambar yang telah sesuai ukuran sebenarnya yaitu skala 1:1 untuk selanjutnya akan ditarik garis sesuai bentuk pola kerusakan delaminasi disekeliling lubang. Setelah pola ini terbentuk maka secara langsung luas area kerusakan dapat dilihat pada tabel *properties*.

Untuk perhitungan delaminasi, digunakan persamaan [11] di bawah ini:

$$F_{eda} = F_{ed} + \frac{A_{max} - A_{nom} - A_d}{A_{max}} (F^2_{ed} - F_{ed}) \quad (1)$$

Dimana:

- F_{eda} = Factor Delamination equivalenten Adjustment
- F_{ed} = Factor Delamination equivalenten
- A_{max} = Maximum Area
- A_{nom} = Nominal Area
- A_d = Delamination Area
- D_e = Equivalent Delamination

6) Pengamatan

Pada penelitian ini mikroskop digital digunakan untuk mengambil gambar sisi permukaan lubang bagian atas dan bagian bawah dari hasil pengurdian. Mikroskop ini mampu dalam mengambil *capture* 500x pembesaran dengan resolusi tinggi, sehingga gambar yang dihasilkan akan terlihat jelas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh jarak serat penguat serat pada pembentukan delaminasi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor jarak serat penguat dalam laminasi komposit memiliki pengaruh pada kerusakan delaminasi di sekitar lubang pengurdian. Kerusakan lubang dapat dikurangi secara signifikan dengan menyesuaikan jarak serat penguat dari permukaan laminasi, perubahan nilai delaminasi dapat dilihat pada tabel II. Variasi jarak serat penguat memberikan pengaruh terhadap perubahan delaminasi. Hasil penelitian ini ditunjukkan pada Gambar III.

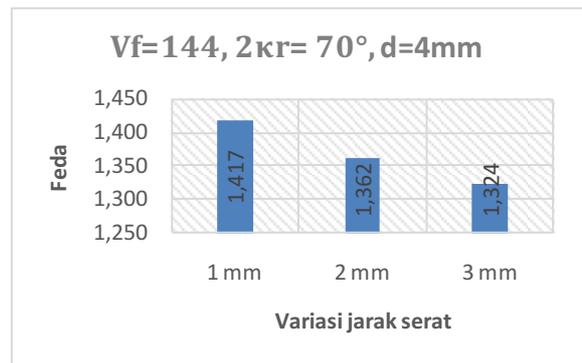
Table II Fedra pada lubang atas (*entrance*) dan bawah (*exits*)

Vf= 144 Sudut 70 d4 / jarak 1 mm										
Lubang Atas										
Trial	Dmax	Amax	Dnom	Anom	Amax	Ad	Fed	β	F ^d -Fd	Feda
1	6.33	22.96	4.00	12.56	31.45	10.40	1.35	0.27	0.48	1.481
2	5.69	22.68	4.00	12.56	25.42	10.12	1.34	0.11	0.46	1.393
3	5.90	23.36	4.00	12.56	27.33	10.80	1.36	0.15	0.50	1.436
4	6.14	22.76	4.00	12.56	29.59	10.20	1.35	0.23	0.47	1.454
5	5.81	23.42	4.00	12.56	26.50	10.86	1.37	0.12	0.50	1.424
6	5.61	22.86	4.00	12.56	24.71	10.30	1.35	0.07	0.47	1.384
7	6.04	23.89	4.00	12.56	28.64	11.33	1.38	0.17	0.52	1.466
8	5.62	22.61	4.00	12.56	24.79	10.05	1.34	0.09	0.46	1.382
9	5.93	22.66	4.00	12.56	27.60	10.10	1.34	0.18	0.46	1.426
10	5.54	20.31	4.00	12.56	24.09	7.75	1.27	0.16	0.35	1.326
Fedra rata-rata										1,417
Lubang Bawah										
Trial	Dmax	A	Dnom	Anom	Amax	Ad	Fed	β	F ^d -Fd	Feda
1	4.69	14.46	4.00	12.56	17.27	1.90	1.07	0.16	0.08	1.086
2	4.66	14.51	4.00	12.56	17.05	1.95	1.07	0.15	0.08	1.087
3	4.53	13.99	4.00	12.56	16.11	1.43	1.06	0.13	0.06	1.063
4	4.66	14.83	4.00	12.56	17.05	2.27	1.09	0.13	0.09	1.099
5	4.58	15.00	4.00	12.56	16.47	2.44	1.09	0.09	0.10	1.102
6	4.94	16.32	4.00	12.56	19.16	3.76	1.14	0.15	0.16	1.164
7	4.59	14.84	4.00	12.56	16.54	2.28	1.09	0.10	0.09	1.097
8	4.71	14.69	4.00	12.56	17.41	2.13	1.08	0.16	0.09	1.095
9	5.05	16.74	4.00	12.56	20.02	4.18	1.15	0.16	0.18	1.184
10	5.48	15.77	4.00	12.56	23.57	3.21	1.12	0.33	0.14	1.165
Fedra rata-rata										1,114

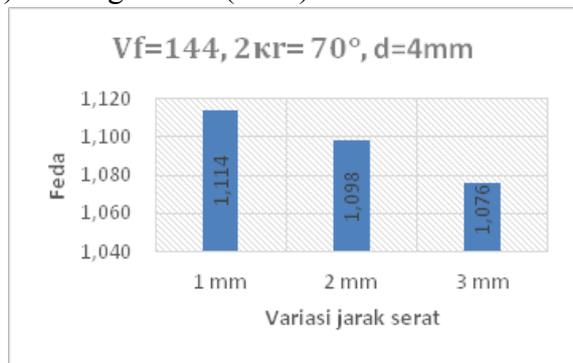
Vf= 144 Sudut 70 d4 / jarak 2 mm										
Lubang Atas										
Trial	Dmax	Amax	Dnom	Anom	Amax	Ad	Fed	β	F ^d -Fd	Feda
1	5.54	21.20	4.00	12.56	24.09	8.64	1.30	0.12	0.39	1.346
2	6.40	25.07	4.00	12.56	32.15	12.51	1.41	0.22	0.58	1.541
3	5.47	20.12	4.00	12.56	23.49	7.56	1.27	0.14	0.34	1.314
4	5.50	20.93	4.00	12.56	23.75	8.37	1.29	0.12	0.38	1.335
5	5.51	20.34	4.00	12.56	23.83	7.78	1.27	0.15	0.35	1.323
6	5.43	20.46	4.00	12.56	23.15	7.90	1.28	0.12	0.35	1.317
7	6.03	21.87	4.00	12.56	28.54	9.31	1.32	0.23	0.42	1.418
8	5.69	22.04	4.00	12.56	25.42	9.48	1.32	0.13	0.43	1.382
9	5.73	21.61	4.00	12.56	25.77	9.05	1.31	0.16	0.41	1.378
10	5.17	19.42	4.00	12.56	20.98	6.86	1.24	0.07	0.30	1.266
Fedra rata-rata										1,362
Lubang Bawah										
Trial	Dmax	A	Dnom	Anom	Amax	Ad	Fed	β	F ^d -Fd	Feda
1	4.47	14.11	4.00	12.56	15.69	1.55	1.06	0.10	0.06	1.066
2	4.84	14.88	4.00	12.56	18.39	2.32	1.09	0.19	0.10	1.107
3	4.56	14.63	4.00	12.56	16.32	2.07	1.08	0.10	0.09	1.088
4	4.94	14.91	4.00	12.56	19.16	2.35	1.09	0.22	0.10	1.111
5	4.57	13.73	4.00	12.56	16.39	1.17	1.05	0.16	0.05	1.053
6	4.77	14.23	4.00	12.56	17.86	1.67	1.06	0.20	0.07	1.078
7	4.88	15.97	4.00	12.56	18.69	3.41	1.13	0.15	0.14	1.149
8	4.52	14.23	4.00	12.56	16.04	1.67	1.06	0.11	0.07	1.072
9	4.62	15.05	4.00	12.56	16.76	2.49	1.09	0.10	0.10	1.105
10	5.04	15.82	4.00	12.56	19.94	3.26	1.12	0.21	0.14	1.151
Fedra rata-rata										1,098

Vf= 144, Sudut 70, d4 / jarak 3 mm										
Lubang Atas										
Trial	Dmax	Amax	Dnom	Anom	Amax	Ad	Fed	β	F ^d -Fd	Feda
1	5.46	21.21	4.00	12.56	23.40	8.65	1.30	0.09	0.39	1.336
2	5.58	21.64	4.00	12.56	24.44	9.08	1.31	0.11	0.41	1.360
3	5.31	20.09	4.00	12.56	22.13	7.53	1.26	0.09	0.33	1.296
4	5.44	21.52	4.00	12.56	23.23	8.96	1.31	0.07	0.40	1.339
5	6.21	23.93	4.00	12.56	30.27	11.37	1.38	0.21	0.52	1.490
6	5.07	18.25	4.00	12.56	20.18	5.69	1.21	0.10	0.25	1.229
7	5.18	19.62	4.00	12.56	21.06	7.06	1.25	0.07	0.31	1.271
8	4.98	15.49	4.00	12.56	19.47	2.93	1.11	0.20	0.12	1.136
9	5.69	20.09	4.00	12.56	25.42	7.53	1.26	0.21	0.33	1.335
10	5.85	24.86	4.00	12.56	26.86	12.30	1.41	0.07	0.57	1.450
Fedra rata-rata										1,324
Lubang Bawah										
Trial	Dmax	A	Dnom	Anom	Amax	Ad	Fed	β	F ^d -Fd	Feda
1	4.40	14.49	4.00	12.56	15.20	1.93	1.07	0.05	0.08	1.078
2	4.43	14.19	4.00	12.56	15.41	1.63	1.06	0.08	0.07	1.068
3	4.48	14.17	4.00	12.56	15.76	1.61	1.06	0.10	0.07	1.069
4	4.51	14.62	4.00	12.56	15.97	2.06	1.08	0.08	0.09	1.086
5	4.37	13.86	4.00	12.56	14.99	1.30	1.05	0.08	0.05	1.054
6	4.50	14.82	4.00	12.56	15.90	2.26	1.09	0.07	0.09	1.093
7	4.38	14.21	4.00	12.56	15.06	1.65	1.06	0.06	0.07	1.067
8	4.51	14.87	4.00	12.56	15.97	2.31	1.09	0.07	0.10	1.095
9	4.39	14.51	4.00	12.56	15.13	1.95	1.07	0.04	0.08	1.078
10	4.36	14.33	4.00	12.56	14.92	1.77	1.07	0.04	0.07	1.071
Fedra rata-rata										1,076

a) Lubang atas (*entrance*)



b) Lubang bawah (*Exits*)



Gambar III Grafik perbedaan Fedas pada setiap variasi jarak yang ditentukan pada lubang sisi atas dan bawah.

Dalam proses penggurdian dengan $V_f = 144$ menggunakan pahat diameter 4 mm dengan sudut pemotongan 70° baik pada sisi atas dan bawah lubang. Dapat dilihat pada Gambar III bahwa rasio delaminasi terendah adalah pada jarak 3 mm kemudian diikuti 2 mm dan pada jarak 1 mm memiliki kerusakan delaminasi yang lebih besar, ini menunjukkan bahwa semakin dekat lapisan serat penguat dari arah permukaan laminasi seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3. Semakin besar kerusakan delaminasi yang terjadi dalam proses penggurdian. Fenomena ini disebabkan oleh dua hal, pertama: posisi serat penguat jauh dari permukaan sehingga serat yang tidak terpotong secara sempurna tidak tertarik hingga ke permukaan.

Yang kedua: serat diperkuat dilapisi dengan matriks tebal 3 mm memiliki kekakuan lebih besar dari 2 mm dan 1 mm, sehingga ketika proses ekstraksi berlangsung, lapisan matriks ini memegang beberapa lapisan serat penguat terlepas dari matriks pengikat sehingga serat lebih kaku dan kuat untuk menahan gaya pemotongan dari cacat. Titik bor memberikan gaya tekan pada lapisan *undercut* di bawah ini. Ketika bor mendekati sisi keluar, jumlah lapisan yang tidak terpotong yang mendukungnya berkurang dan ketahanan terhadap deformasi berkurang. Pada ketebalan kritis, tegangan lentur menjadi lebih

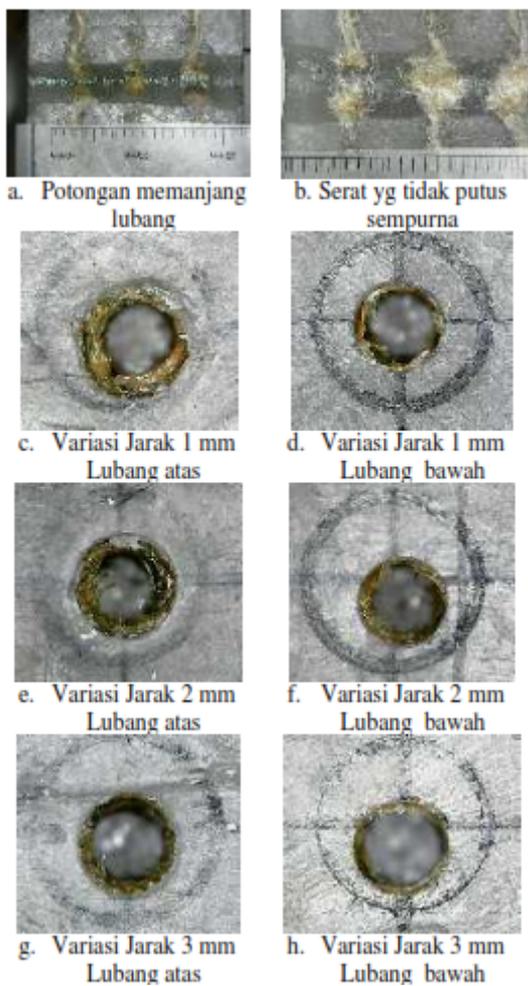
besar dari kekuatan interlaminar antara lapisan dan celah interlaminar mulai di sekitar lubang [12]. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa ada kekuatan yang berkurang.

Kemudian penelitian sebelumnya melaporkan tentang dukungan tambahan di bagian bawah laminasi saat penggurdian berlangsung. Penambahan penghalang akan meningkatkan kekuatan dorong kritis / menghambat gaya tekan sehingga akan mempengaruhi kekakuan / kelenturan material komposit.

B. Morfologi Setelah Proses Penggurdian

Hasil yang diperoleh dengan rasio delaminasi terkecil, yaitu pada jarak 3 mm kemudian diikuti oleh jarak 2 mm dan kemudian 1 mm.

Jika alur drainase ditutup, geraman baru yang terbentuk dari potongan berikutnya akan memaksanya keluar melalui celah antara sisi pahat dan sisi lubang, karena aliran keluar tidak melewati alur pahat, ada gesekan yang mengakibatkan pembesaran pada sisi lubang dan merusak lapisan serat penguat yang dilewatinya. Fenomena kedua terjadi karena celah antara anyaman dan ketebalan serat tidak seimbang dengan diameter alat pemotong, celah pada serat anyaman adalah 1.5mm ketebalan lapisan serat 2.5mm sedangkan diameter pahat adalah 4mm yang berarti memiliki lebar mata 2mm sehingga alat cenderung melewati celah antara anyaman serat atau memotong sebagian kecil dari serat, sehingga fenomena ini menyebabkan serat didorong ke sisi lubang tanpa dipotong sempurna, sehingga ada penumpukan sisi lubang. 70° dan 118° memiliki sisa serat yang tidak dipotong sempurna, ini terjadi pada setiap variasi jarak [13].



Gambar IV Morfologi lubang setelah proses pengurdian: $d = 4\text{mm}$

4. KESIMPULAN

Ada dua poin utama kesimpulan:

1. Delaminasi terjadi karena bagian dari serat penguat yaitu tidak dipotong sesuai dengan diameter alat, serat yang tidak dipotong akan dibawa oleh sudut pahat helix yang berputar ke bawah. Kondisi ini menyebabkan bagian permukaan material komposit (kelembutan melunak) mengalami perubahan bentuk oleh rotasi pahat dan bagian yang tidak sepenuhnya dipotong oleh pahat.

2. Pengaturan jarak serat penguat memiliki pengaruh pada pembentukan delaminasi, baik lubang atas maupun bawah. Delaminasi terjadi bahkan lebih besar ketika

lapisan serat penguat mendekati permukaan, yang berarti ketipisan matriks yang melapisi permukaan di atas atau di bawahnya. Sehingga tidak dapat menahan gaya pahat menyebabkan lepasnya ikatan antar matriks, sebaliknya semakin jauh posisi lapisan serat penguat ditempatkan dari permukaan material komposit, semakin kecil rasio delaminasi (F_{eda}).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini adalah didanai oleh "Lembaga Pengelola Dana Pendidikan" LPDP, (Dana Abadi Indonesia untuk Pendidikan) dari Kementerian Keuangan Indonesia dengan nama proyek "Master Thesis Research".

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Hussain, M. Hojjati, M. Okamoto, and R. E. Gorga, "Polymer-matrix nanocomposites, processing, manufacturing, and application: An overview," *J. Compos. Mater.*, vol. 40, no. 17, pp. 1511–1575, 2006.
- [2] K. L. Pickering, M. G. A. Efendy, and T. M. Le, "A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance," *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 83, pp. 98–112, 2016.
- [3] M. Asrofi, H. Abral, Y. K. Putra, S. M. Sapuan, and H. J. Kim, "Effect of duration of sonication during gelatinization on properties of tapioca starch water hyacinth fiber biocomposite," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 108, pp. 167–176, 2018.
- [4] H. Abral, G. J. Putra, M. Asrofi, J.-W. Park, and H.-J. Kim, "Effect of vibration duration of high ultrasound applied to biocomposite while gelatinized on its properties," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 40, 2018.
- [5] R. A. Ilyas, S. M. Sapuan, M. R. Ishak, and E. S. Zainudin, "Development and characterization of sugar palm nanocrystalline cellulose reinforced sugar

- palm starch bionanocomposites,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 202, pp. 186–202, 2018.
- [6] E. Syafri et al., “Synthesis and characterization of cellulose nanofibers (CNF) ramie reinforced cassava starch hybrid composites,” *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 120, pp. 578–586, 2018.
- [7] K. Z. M. A. Motaleb, M. S. Islam, and M. B. Hoque, “Improvement of Physicomechanical Properties of Pineapple Leaf Fiber Reinforced Composite,” *Int. J. Biomater.*, vol. 2018, 2018.
- [8] M. Asim et al., “A Review on Pineapple Leaves Fibre and Its Composites,” *Int. J. Polym. Sci.*, vol. 2015, pp. 1–16, 2015.
- [9] H. Abral et al., “Mechanical properties of water hyacinth fibers - *polyester* composites before and after immersion in water,” *Mater. Des.*, vol. 58, pp. 125–129, 2014.
- [10] D. F. Liu, Y. J. Tang, and W. L. Cong, “A review of mechanical drilling for composite laminates,” *Compos. Struct.*, vol. 94, no. 4, pp. 1265–1279, 2012.
- [11] S. Al-wandi, S. Ding, and J. Mo, “An approach to evaluate delamination factor when drilling carbon fiber-reinforced plastics using different drill geometries: experiment and finite element study,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 93, no. 9–12, pp. 4043–4061, 2017.
- [12] Y. Turki, M. Habak, R. Velasco, Z. Aboura, K. Khellil, and P. Vantomme, “Experimental investigation of drilling damage and stitching effects on the mechanical behavior of carbon/epoxy composites,” *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 87, pp. 61–72, 2014.
- [13] K. Debnath, I. Singh, and A. Dvivedi, “Drilling characteristics of sisal fiber-reinforced epoxy and polypropylene composites,” *Mater. Manuf. Process.*, vol. 29, no. 11–12, pp. 1401–1409, 2014.