

# HUBUNGAN ANTARA KEAUSAN TEPI PAHAT dengan RASIO DELAMINASI LUBANGTAS pada PROSES MENGGURDI KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT DAUN NANAS ( PALFS )

Murdani<sup>1</sup> Ismet Hari Mulyadi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas,  
Kampus Unand Limau Manis, Padang Indonesia  
Email : [daniakn13@gmail.com](mailto:daniakn13@gmail.com)<sup>1</sup> [ismetthm70@gmail.com](mailto:ismetthm70@gmail.com)<sup>2</sup>

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara terjadinya delaminasi dengan keausan tepi pahat pada proses menggurdi material komposit berpenguat serat daun nanas. Untuk material komposit berpenguat serat daun nanas dipersiapkan dalam bentuk lembaran yang dijalin (*woven mat*). Lembaran komposit kemudian disusun dalam 3 (tiga) lapisan (*stacking*) dalam matrik termoplastik dengan metoda *Hand Lay-up*. Adapun orientasi serat masing-masing lembaran adalah 90° dan 45°. Komposit kemudian dilubang dengan mempergunakan proses menggurdi dengan dua kondisi, yaitu kondisi ringan dan berat. Kualitas lubang dalam aspek delaminasi dan keausan tepi pahat diukur dengan mempergunakan mikroskop optik yang dilengkapi perangkat lunak pengukuran. Selanjutnya hubungan antara nilai rasio delaminasi dan keausan tepi pahat hasil menggurdi dibangun. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa tidak ada hubungan antara pertumbuhan keausan tepi pahat dengan terjadinya delaminasi lubang pada proses menggurdi material komposit ini dan dengan kondisi pemotongan yang dipilih. Hasil ini telah diverifikasi dengan menggunakan *Analysis of Variances* (ANOVA) dan *Trend Analysis*.

**Kata kunci** : Komposit berpenguat serat daun nanas, nilai rasio delaminasi, proses menggurdi, keausan tepi pahat.

## Abstract

*This study aims to establish the relationship between flank wear and the occurrence of delamination in the drilling of pineapple leaf fibre reinforced composite material. The pineapple leaf fibre reinforced composite material was prepared in the form of woven mats. The composite sheet is then arranged in 3 (three) layers (stacking) using the Hand Lay-up method. The fibre orientation of each sheet was 90° and 45°. The drilling process was conducted on composite under two conditions, namely light and heavy conditions. The hole quality in terms of delamination and flank wear were measured using an optical microscope that is equipped with measurement software. Furthermore, the relationship between delamination ratio and flank wear of the cutting tool edge was established. The results indicate that there is no relationship between degradation of flank wear and the hole delamination in the drilling of this type of composite material under selected cutting conditions. These results have been verified using Analysis of Variances (ANOVA) and Trend Analysis.*

*Keywords* : Pineapple leaf fiber-reinforced composite, delamination ratio, drilling process, flank wear.

## 1. PENDAHULUAN

Komposit adalah kelompok material yang dibentuk dari dua atau lebih material yang memiliki karakteristik spesifik sehingga menghasilkan suatu material dengan karakteristik yang lebih baik seperti rasio kekuatan dan berat (*specific strength*) yang tinggi, tahan terhadap korosi dan arah kekuatan yang dapat dikendalikan dan beberapa sifat unggul lainnya [1]. Dengan alasan tersebut, kelompok material ini telah banyak dipergunakan pada berbagai aplikasi seperti peralatan rumah tangga, olah raga dan komponen-komponen tertentu pada pesawat terbang serta kapal laut [2].

Jenis komposit yang paling umum dimanfaatkan adalah penguat dari serat (*fiber*) yang kuat yang diikat oleh pengikat (*binder*). Walaupun penguat berbentuk serpihan (*flakes*) juga dimanfaatkan akan tetapi tidak seefektif penguat dari serat [3]. Hal ini disebabkan material akan lebih kuat dalam bentuk serat dibandingkan dalam bentuk padat untuk meningkatkan efisien penguatan (*Reinforcing Efficiency*) [4].

Serat yang dimanfaatkan sebagai penguat yang telah teruji dan tersedia secara komersial adalah berupa serat sintesis seperti serat kaca (*glass fiber*) dan serat aramid (*Aramid fibre*). Akan tetapi mempertimbangkan dampak buangnya

terhadap lingkungan [5], maka serat alam menjadi alternatif yang menjanjikan sebagai pengganti serat buatan. Hal ini disebabkan serat alam memiliki beberapa kelebihan seperti kekuatan spesifik yang setara dengan serat buatan [6] dan tersedia melimpah serta berkelanjutan [7],[8]. Akan tetapi serat alam masih memiliki beberapa kelemahan yang salah satunya adalah rata-rata memiliki sifat mekanik yang kurang menguntungkan [9]. Untuk itu, serat alam terus dikembangkan untuk menyamai serat sintesis dengan menerapkan beberapa perlakuan. Salah satu serat alam yang dikembangkan sebagai penguat pada material komposit adalah serat daun nanas (*Pine Apple Leaf Fibers-PALFs*).

Aplikasi dari komposit berpenguat serat alami (*Natural Fiber Reinforced Composites-NFRCs*) telah banyak dipergunakan di industri otomotif untuk berbagai bagian [10],[11]. Komponen yang terbuat dari NFRCs memiliki bentuk akhir yang mendekati dimensi dan geometri sebenarnya (*Near Net Shapes*). Walaupun proses kedua (*secondary manufacturing processes*) tidak dapat dikesamping dalam tujuan menghasilkan produk yang lebih efisien dan murah yang dipergunakan pada berbagai tahapan seperti pada persiapan pelapisan (*laminating*), pembuatan komponen dan proses penggabungan (*assembly*). Adapun salah satu proses yang umum dipergunakan adalah proses pembuatan lubang (*hole making processes*)[12]. Pada proses pembuatan lubang ini umumnya dipergunakan proses menggurdi (*Drilling Processes*). Akan tetapi disebabkan oleh karakteristik dari NFRCs yang tidak *homogen* menyebabkan kendala tersendiri dalam menghasilkan lubang yang berkualitas baik. Salah satu kendala yang paling umum adalah terjadinya delaminasi baik pada permukaan lubang atas (*peel-up*) maupun lubang bawah (*push-out*) dan tingginya tingkat keausan pahat (*Tool wear*)[13],14,15,16,17].

Menurut Nassar dkk (2017), delaminasi dapat diminimalkan dengan memilih kecepatan potong yang tinggi, gerakan makan lambat, dan diameter kecil yang memiliki sudut ujung  $118^\circ$  [18]. Akan tetapi secara teoritis, kecepatan potong tinggi akan memicu terjadinya keausan pahat yang cepat. Tingginya keausan pahat justru akan memperbesar gaya tekan (*thrust forces*) yang relatif sensitif dalam memicu terjadinya delaminasi [19]. Dengan kata lain pemilihan parameter pemotongan maupun geometri pahat tidak hanya dilihat secara terpisah. Kondisi inilah yang melatarbelakangi penelitian ini untuk melihat hubungan antara terbentuknya delaminasi dengan keausan pada bidang tepi dari pahat.

## 2. METODE

### 2.1. Bahan dan Peralatan

Material yang dipergunakan adalah komposit berbasis termoplastik yang diperkuat dengan serat daun nanas (PALFs). Serat daun nanas didapat dari daerah Wonosari Barat Kec. Bengkalis, Serat nanas dirajut (woven) dengan orientasi *Crossed*  $90^\circ$  dan *Crossed*  $45^\circ$  seperti pada Gambar 1.



(a) (b)

**Gambar 1.**(a) cetakan siap melakukan penganyaman, (b) proses serta hasil penganyaman.

Sebelum pembuatan spesimen uji, terlebih dahulu ditentukan komposisi dari komposit. Menurut [20], komposit berpenguat serat harus memiliki fraksi volume antara matrik dengan penguat dengan perbandingan 70%:30% berturut-turut. Komposisi dicetak berbentuk *Slab* dengan metoda Hand Lay-up berukuran sebesar 270 mm x 120 mm x 25 mm. Ukuran ini ditentukan berdasarkan (a) kapasitas ruang kerja mesin perkakas yang dipergunakan, (b) jarak antara lapisan serat

yang akan disusun dan (c) jarak antara lubang yang aman. Dengan dimensi cetakan tersebut di atas, maka volume dari paduan pembentuk komposit adalah  $810 \text{ cm}^3$ . Dengan volume tersebut maka matrik yang harus dipersiapkan adalah setara dengan 530 gram matrik dari bahan *Ethylene-vinyl acetate* dengan berat jenis  $0,935 \text{ gram/cm}^3$ . Sedangkan serat nanas yang dipersiapkan adalah setara dengan 370,1 gram serat nanas yang memiliki berat jenis  $1,526 \text{ gram/cm}^3$ . Proses pencetakan dan komposit yang dihasilkan diperlihatkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Material komposit berpenguat serat daun nanas dari hasil pencetakan

Selanjutnya material komposit digurdi dengan menggunakan pahat gurdi twist drill yang terbuat dari material *High Speed Steel (HSS)* [21]. Jenis pahat ini dipilih karena umum dipergunakan dan sesuai untuk proses menggurdi dari jenis material uji pada penelitian ini, selain itu tahan pada gesekan dan temperatur tinggi. Pahat *twistdrill* yang dipergunakan memiliki diameter 6 mm dan 10 mm seperti pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Pahat HSS *Twist Drill* [22]

Pada proses penggurdian digunakan bahan pendingin sebagai berikut;

- 1). Udara Bertekanan.
- 2). Minyak Kelapa Sawit (Minyak goreng curah).

Untuk menghasilkan lubang padakomposit dipergunakan Mesin *CNC milling* jenis *Emco Concept MILL55* (Gambar 4) Pemilihan jenis mesin ini didasari pada sistem kerjanya yang dilengkapi sistem mekanik dan kontrol yang berbasis komputer, dengan menggunakan sistem *numeric* dengan kode G (*G Code*) sehingga lebih mudah dalam mengatur parameter pemesinan seperti *speed* dan *feeding* pada proses pemesinan.



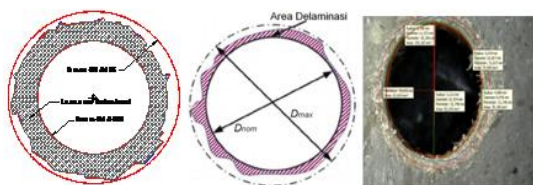
**Gambar 4.** Mesin *CNC EMCO Mill 55* [22]

Gambar sisi permukaan lubang yang mengalami delaminasi diambil dengan mempergunakan mikroskop digital. Mikroskop ini mampu dalam mengambil capture 1000x pembesaran dengan resolusi tinggi, sehingga gambar yang dihasilkan akan terlihat jelas. Mikroskop yang dipergunakan diperlihatkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** *Handheld* mikroskop digital [23]

Selanjutnya gambar diameter lubang hasil pengambilan dengan menggunakan mikroskop digital diukur dengan mempergunakan perangkat lunak pengukuran. Adapun dimensi yang diukur seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6.



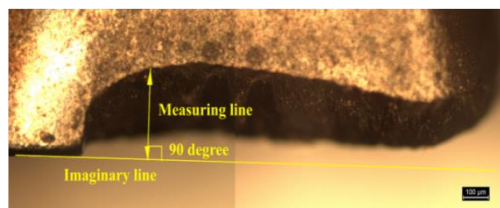
Gambar 6. Daerah delaminasi yang diukur [8,9].(a) skema dan (b) kondisi sebenarnya

Hasil pengukuran akan diolah dengan menggunakan persamaan rasio delaminasi seperti pada Persamaan (1).

$$F_{eda} = \frac{D_{max}}{D_{nom}} + \frac{A_d}{A_{max} - A_{nom}} \left( \left[ \frac{D_{max}}{D_{nom}} \right]^2 - \left[ \frac{D_{max}}{D_{nom}} \right] \right) \dots (1)$$

Pada Persamaan (1) nilai Rasio delaminasi merupakan nilai yang tidak memiliki unit dari  $F_{da}$  yang merupakan rata-rata dari nilai rasio delaminasi ekuivalen. Nilai ini diperoleh dari akumulasi dan perkalian dari luas daerah yang sebenarnya terdelaminasi ( $A_d$  dalam  $mm^2$ ), luas lingkaran lubang ( $A_{nom}$  dalam  $mm^2$ ), luas daerah delaminasi maksimum ( $A_{max}$  dalam  $mm^2$ ) dan diameter lingkaran lubang yang setara dengan diameter pahat ( $D_{nom}$  dalam mm).

Sedangkan keausan tepi pahat juga diukur dengan menggunakan mikroskop yang sama. Besarnya keausan tepi dapat diketahui dengan mengukur panjang VB (mm), yaitu jarak antara mata potong yang terjadi aus sampai kegaris rata-rata bekas aus. Pengukuran aus dilakukan semaksimal mungkin agar memperoleh hasil pengukuran yang lebih akurat dan meminimalisir nilai kesalahan[26]. Adapun cara pengukuran keausan tepi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Cara pengukuran keausan tepi (VB)[26]

## 2.2. Perancangan Penelitian

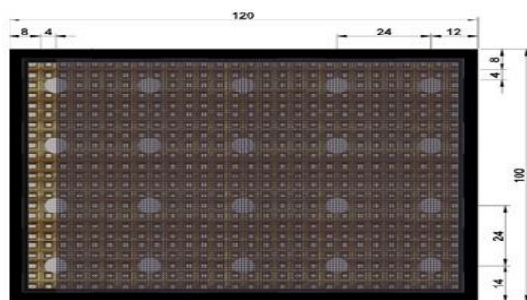
Variabel proses yang digunakan pada penelitian ini dipilih berdasarkan usulan peneliti terdahulu yang dianggap memberikan pengaruh terhadap delaminasi. Sebagaimana menurut Nassar dkk (2017) [27] bahwa secara umum, kecepatan *spindle* lebih tinggi, *feed rate* lebih rendah, diameter gurdi lebih kecil dan sudut ujung pahat  $118^\circ$  membantu mengurangi delaminasi yang paling kritis. Kesimpulan yang sama juga didefinisikan oleh [28] untuk menghasilkan keausan pahat minimum. Berdasarkan temuan-temuan di atas, maka penelitian ini akan dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi yang akan memicu terjadinya keausan pahat dan rasio delaminasi yang tinggi (Kondisi 1) dan kondisi sebaliknya (Kondisi 2). Adapun lebih rinci parameter yang dipergunakan pada kedua kondisi di atas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 . Faktor dan tingkatan yang dipergunakan untuk susunan Variabel kontan.

No.	Faktor	Kondisi	
		1	2
1.	Diameter Pahat (d)	6 mm	10 mm
2.	Gerak makan (f)	0,1 mm/r	0,2 mm/r
4.	Orientasi anyaman serat	Crossed 90°	Crossed 45°
5.	Pendingin	Minyak goring	Udara Bertekanan

Sedangkan parameter yang dijaga konstan adalah sudut ujung ( $2\kappa_r$ ) sebesar  $118^\circ$  dan kecepatan potong ( $V_c$ ) sesuai dengan kecepatan potong pahat HSS *Twist drill* yaitu 30m/menit. Sedangkan yang menjadi parameter terikat (*dependent variables*) atau respon adalah keausan tepi pahat (VB) dan rasiodelaminasi yang diatur (*adjusted*)( $F_{da}$ ) untuk lubang atas

(entry) dan lubang bawah (exit). Untuk masing-masing kondisi akan dilakukan proses menggurdi secara terpisah sebanyak 500 lubang masing-masingnya mengikuti lintasan seperti pada Gambar 8. Selanjutnya lay-out pengambilan data dari penelitian ini diperlihatkan pada Tabel 2. Pengambilan data akan dilakukan sebanyak 2 (dua) kali pengulangan (repetition).



Gambar 8. Perancangan material uji/ lay- Out Pengambilan data.

Tabel 2. Lay-out pengambilan data

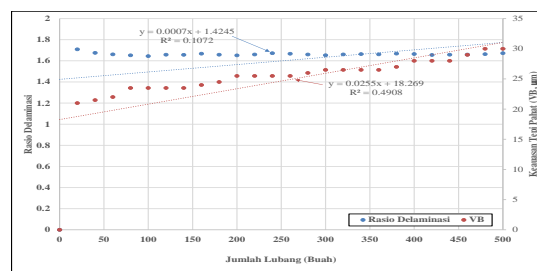
No Lubang	Pengaturan Kondisi	Respon						
		Keausan Tepi (VB)		Rasio Delaminasi (Fda)				
		Data1	Data2	Lubang Atas		Lubang Bawah		
				Data1	Data2	Data1	Data2	
1	Kondisi 1/ Kondisi 2							
2	Kondisi 1/ Kondisi 2							
...	...	...	...	...	...	...	...	...
500	Kondisi 1/ Kondisi 2							

Data hasil pengukuran (Respon) akan diplot dalam grafik dan didekati dengan menggunakan regresi linear. Regresi linear dipilih untuk mendekati data disebabkan baik perubahan nilai rasio delaminasi maupun keausan tepi secara teoritis akan mengalami peningkatan secara linear untuk setiap lubang yang dihasilkan. Dari hasil regresi linear akan diperoleh model regresi. Untuk memastikan bahwa perubahan yang terjadi menunjukkan kecenderungan sesuai dengan hipotesis (tumbuh secara linear) maka ANOVA (Analysis of Variances) dilakukan terhadap model regresi. Adapun tingkat keyakinan (CF-Confidential Factor) yang dipilih adalah 95% sehingga apabila nilai keberartian model ( $p$ -value) kecil dari 5% (atau 0,05) maka model yang dibangun dapat dianggap tepat. Selain itu, untuk

meningkatkan keyakinan terhadap hasil yang diperoleh, grafik yang diplot dianalisa dengan mempergunakan Trend Analysis. Dari Trend Analysis akan diperoleh nilai MAD (The mean absolute deviation) dan MSD (The mean square deviation). Yang mana baik MAD ataupun MSD menunjukkan akurasi dari data percobaan yang diperoleh. Nilai MAD ataupun MSD yang kecil dari 1 dianggap penyebaran data tidak sesuai dengan hipotesis yang telah ditetapkan[29].

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 9. memperlihatkan hubungan antara nilai rasio delaminasi lubang atas dan keausan pahat hasil menggurdi pada material komposit berpenguat serat daun nanas dengan mempergunakan pahat berdiameter 6 mm (kondisi 1). Dari Gambar 9 terlihat bahwa antara nilai rasio delaminasi sebanding dengan keausan pahat yang terjadi selama proses pembuatan lubang. Semakin aus pahat maka delaminasi yang terjadi juga mengalami peningkatan secara linear. Akan tetapi, nilai korelasi ( $R^2$ ) dari model regresi linear yang dihasilkan untuk nilai rasio delaminasi cenderung sangat rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa pergerakan data dari nilai rasio delaminasi relatif tidak mengalami pertumbuhan. Hal ini berbeda dengan pertumbuhan keausan tepi (tool wear progression). Walaupun pertumbuhan yang terjadi relatif lambat akan tetapi dari Gambar 9. terindikasi bahwa keausan tepi meningkat seiring dengan banyaknya jumlah lubang yang dihasilkan.



Gambar 9. Hubungan antara nilai rasio delaminasi (Fda) dengan keausan tepi pahat (VB) pada proses

menggunakan material komposit berpenguat serat daun nanas yang menggunakan diameter pahat 6 mm (kondisi 1)

Selanjutnya untuk memverifikasi hasil yang disajikan pada Gambar 9, *Analysis of Variances* (ANOVA) dipergunakan untuk menganalisa. Hasil ANOVA untuk model regresi yang dibangun untuk pertumbuhan nilai rasio delaminasi ditunjukkan pada Tabel 3. Dari Tabel 3. diketahui bahwa model regresi linear yang dihasilkan oleh pergerakan data nilai rasio delaminasi tidak menunjukkan keberartian (*insignificant*). Hal ini disebabkan nilai  $p$ -value besar dari 0,05 (95% CF). Hasil ini berbeda untuk hasil ANOVA untuk model yang dibangun sebagai refleksi pergerakan dari keausan tepi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Hasil ANOVA untuk pergerakan keausan pahat menunjukkan bahwa model regresi linear yang dipergunakan memiliki keberartian (*significant*) karena memiliki nilai  $p$ -value kecil dari 0,05 (95% CF).

**Tabel 3** Hasil ANOVA terhadap model regresi untuk rasio delaminasi lubang atas dengan pahat diameter 6 mm (kondisi 1)

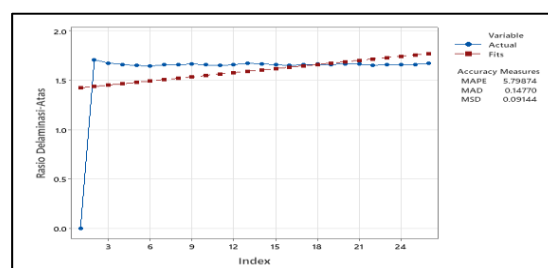
Source	DF	SS	MS	F	$p$ -value
Regression	1	0.28542	0.285419	2.88	0.103
Error	24	2.37749	0.099062		
Total	25	2.66291			

Dengan kata lain, model yang dibangun untuk bukanlah merepresentasi pertumbuhan yang linear dari nilai rasio delaminasi lubang atas pada kondisi pemotongan yang ringan (diameter pahat 6 mm). Sedangkan untuk model yang dibangun berdasarkan pergerakan data keausan tepi menunjukkan pertumbuhan yang mengikuti garis regresi linier.

**Tabel 4.** Hasil ANOVA terhadap model regresi untuk keausan pahat dengan pahat diameter 6 mm (kondisi 1)

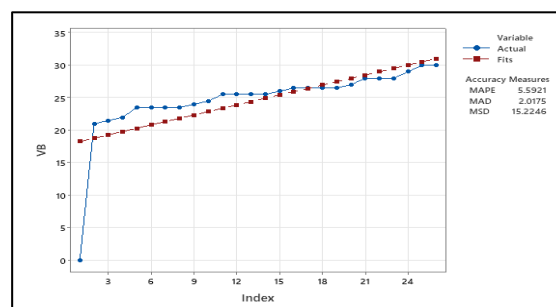
Source	DF	SS	MS	F	$p$ -value
Regression	1	381.545	381.545	23.13	0.000
Error	24	395.840	16.493		
Total	25	777.385			

Walaupun hasil ANOVA yang ditunjukkan baik pada Tabel 3. maupun Tabel 4. Sudah memberikan gambaran tentang hubungan antara nilai rasio delaminasi dengan keausan tepi pahat untuk lubang atas dan pada pemotongan yang ringan akan tetapi untuk lebih meyakinkan maka *Trend Analysis* dilakukan. Hasil *Trend Analysis* untuk pertumbuhan nilai rasio delaminasi lubang atas diberikan pada Gambar 10. Sedangkan untuk pertumbuhan keausan pahat diberikan pada Gambar 11.



**Gambar 10.** Hasil analisa *trend* dari model regresi untuk rasio delaminasi lubang atas dengan pahat diameter 6 mm (kondisi 1)

Terlihat bahwa nilai rasio delaminasi untuk lubang atas tidak mengikuti kecenderungan dari model yang didekati. Selain itu dari nilai MAD dan MSD yang diperoleh mengindikasikan bahwa nilai rasio delaminasi lubang atas tidak mengalami pertumbuhan dengan semakin banyaknya lubang yang dihasilkan. Yang mana baik nilai MSD maupun MAD lebih rendah dari 1.

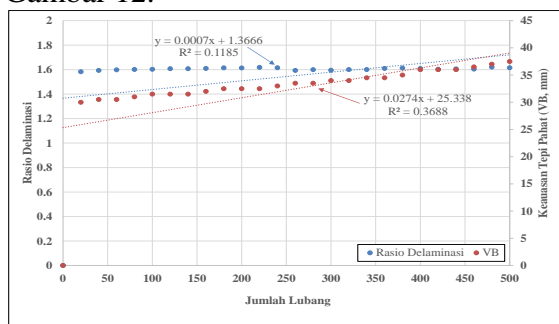


**Gambar 11.** Hasil analisa *trend* dari model regresi untuk keausan pahat dengan pahat diameter 6 mm (kondisi 1)

Sejalan dengan hasil ANOVA pada Tabel 4, model yang dibangun dari

pergerakan keausan tepi berdasarkan hasil *Trend Analysis* (Gambar 11) mengindikasikan korelasi antara banyaknya lubang dengan terjadinya keausan. Hal ini dipertegas dengan nilai MAD dan MSD yang lebih besar dibandingkan 1 yang berarti model regresi linear yang dibangun adalah tepat untuk merepresentasikan perkembangan keausan tepi pahat.

Hasil yang diperlihatkan untuk lubang atas pada kondisi pemotongan ringan ini (kondisi 1) kemungkinan tidak membuat ikatan serat terlepas dari pengikatnya (matrik). Hal ini dimungkinkan terjadi jika gaya tekan dengan kondisi pemotongan tersebut relatif tidak besar. Gaya tekan yang kecil akan dapat mengurangi nilai rasio delaminasi khususnya untuk lubang bagian atas [30,31,32]. Untuk itu telah dilakukan proses menggurdi dengan kondisi pemotongan yang lebih berat dengan menggunakan pahat berdiameter 10 mm. Dengan pahat berukuran lebih besar maka penampang gesek dari pahat pada material komposit akan meningkat sehingga gaya tekan juga akan meningkat. Hasil penelitiannya diberikan pada Gambar 12.



**Gambar12** Hubungan antara rasio delaminasi (Fda) dengan keausan tepi pahat (VB) pada proses menggurdi material komposit berpenguat serat daun nanas yang menggunakan diameter pahat10 mm (kondisi 2).

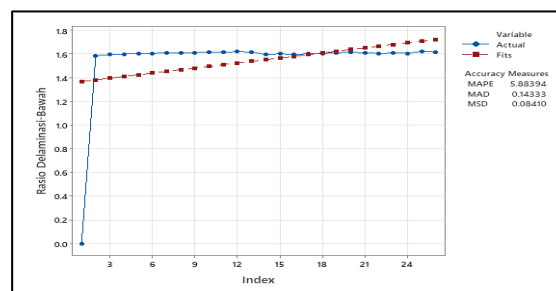
Koefisien korelasi ( $R^2$ ) dari model regresi yang dibangun mengalami peningkatan dengan kondisi pemotongan yang lebih berat. Yang mana untuk kondisi pemotongan ringan  $R^2$  sebesar 0,1072 sedangkan untuk kondisi pemotongan yang lebih berat meningkat menjadi

sebesar 0,1185. Dengan kata lain dengan semakin ausnya pahat maka nilai rasio delaminasi mengalami sedikit peningkatan. Akan tetapi, hal ini masih belum mengindikasikan bahwa nilai rasio delaminasi mengalami peningkatan yang berarti. Hal ini ditunjukkan dari hasil ANOVA seperti yang diperlihatkan pada Tabel 5. Yang mana model yang dibangun untuk nilai rasio delaminasi masih memiliki  $p$ -value besar dari 0,05.

**Tabel 5** Hasil ANOVA terhadap model regresi untuk rasio delaminasi lubang atas dengan pahat diameter 10 mm (kondisi 2)

Source	DF	SS	MS	F	$p$ -value
Regression	1	0.29396	0.293965	3.23	0.085
Error	24	2.18661	0.091109		
Total	25	2.48058			

Hasil MAD dan MSD seperti yang diperlihatkan pada Gambar 13 juga mengisyaratkan nilai yang masih kurang dari 1. Hal ini berarti, walaupun kondisi pemotongan telah dibuat menjadi lebih berat akan tetapi pertumbuhan nilai rasio delaminasi lubang atas tidak sejalan dengan pertumbuhan keausan tepi dari pahat.

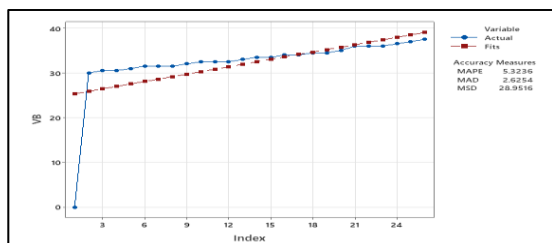


**Gambar 13** Hasil analisa *trend* dari model regresi untuk rasio delaminasi lubang atas dengan pahat diameter 10 mm (kondisi 2).

Sedangkan untuk pergerakan keausan tepi pahat, walaupun kondisi pemotongan telah ditingkatkan, model regresi linear yang dibangun masih menunjukkan relevansi terhadap keberartian pertumbuhan keausan tepi yang terjadi. Hal ini diperlihatkan baik dari hasil ANOVA pada Tabel 6 maupun nilai MAD and MSD yang ditunjukkan pada Gambar 14.

**Tabel 6** Hasil ANOVA terhadap model regresi untuk keausan pahat dengan pahat diameter 10 mm (kondisi 2).

Source	DF	SS	MS	F	p-value
Regression	1	439.80	439.798	14.02	0.001
Error	24	752.74	31.364		
Total	25	1192.54			



**Gambar 14** Hasil analisa *trend* dari model regresi untuk keausan pahat dengan pahat diameter 10 mm (kondisi 2)

Berdasarkan hasil penelitian maupun analisa yang dipaparkan pada bagian ini, ada indikasi bahwa keausan pahat tidak mempengaruhi pertumbuhan nilai rasio delaminasi pada lubang bagian atas. Semakin aus pahat yang dipergunakan maka nilai rasio delaminasi yang terjadi cenderung tidak berubah.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa untuk proses menggurdi material komposit berpenguat serat daun nanas dengan kondisi pemotongan yang dipilih akibat pertumbuhan keausan tepi pada pahat tidak memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan nilai rasio delaminasi lubang. Yang mana setelah proses menggurdi 500 buah lubang dilakukan yang menyebabkan keausan tepi pahat tumbuh antara 25% - 43% akan tetapi nilai rasio delaminasi cenderung tidak mengalami perubahan.

Kondisi ini terjadi selain disebabkan oleh jenis serat yang dipergunakan yaitu serat alam yang memiliki karakteristik yang berbeda dengan serat buatan juga disebabkan pemilihan parameter pemotongan yang cenderung menghasilkan nilai rasio delaminasi dan keausan pahat yang relatif rendah. selain

itu, adanya konsep batas keausan kritis juga merupakan alasan dimana pertumbuhan delaminasi lubang tidak sejalan dengan pertumbuhan keausan tepi.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Kepada seluruh pihak yang mendukung penelitian ini kami ucapkan banyak terimakasih.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Chegiani, S. Mezghani, M. El Mansori, and A. Mkaddem, "Fiber type effect on tribological behavior when cutting natural fiber reinforced plastics," *Wear*, vol. 332–333, pp. 772–779, 2015, doi: 10.1016/j.wear.2014.12.039.
- [2] C. C. Daniel F. Caulfield, "Wood Thermoplastic Composites Chapter 13," 2005.
- [3] Barbero E.J. "Introduction to composite materials design," *Taylor and Francis, New York, 1999, pp 2. .*
- [4] I. To, Barbero, E.J., *Introduction to composite materials design, Third edition. Boca Raton, Taylor & Francis, CRC Press, 2017, pp 3. 2017.*
- [5] S. V. Joshi, L. T. Drzal, A. K. Mohanty, and S. Arora, "S. V. Joshi, L. T. Drzal, A. K. Mohanty, dan S. Arora, 'Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?,' *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 35, no. 3, hal. 371–376, 2004," vol. 35, no. 3, pp. 371–376, 2004, doi: 10.1016/j.compositesa.2003.09.016.
- [6] A. Ticoalu, T. Aravinthan, and F. Cardona, "A. Ticoalu, T. Aravinthan, dan F. Cardona, 'A review of current development in



- natural fiber composites for structural and infrastructure applications,' South. Reg. Eng. Conf., no. November, hal. 1–5, 2010.],” no. November, pp. 113–117, 2010.
- [7] A. Ayensu, “A. Ayensu, ‘Interfacial Debonding of Natural-Fibre,’ Water,” 2000.
- [8] D. Verma, P. C. Gope, A. Shandilya, A. Gupta, and M. K. Maheshwari, “Coir fibre reinforcement and application in polymer composites: A review,” *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 263–276, 2013.
- [9] J. Wong, “Processing of High Performance Thermoplastic Composites What are we learning about this week,” no. March, pp. 1–41, 2017.
- [10] A. Lotfi, H. Li, D. V. Dao, and G. Prusty, “Natural fiber–reinforced composites: A review on material, manufacturing, and machinability,” *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, 2019, doi: 10.1177/0892705719844546.
- [11] O. Faruk, A. K. Bledzki, H. P. Fink, and M. Sain, “Progress report on natural fiber reinforced composites,” *Macromol. Mater. Eng.*, vol. 299, no. 1, pp. 9–26, 2014, doi: 10.1002/mame.201300008.
- [12] W. P. Limited, *Tsao CC., 2012. Drilling processes for composites, in: Hocheng H (Eds). Machining technology for composite materials: Principles and Practices. Woodhead Publishing Limited, Philadelphia, US. pp 17-60.* 2012.
- [13] S. O. Ismail, H. N. Dhakal, E. Dimla, J. Beaugrand, and I. Popov, “Effects of drilling parameters and aspect ratios on delamination and surface roughness of lignocellulosic HFRP composite laminates,” *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 133, no. 7, pp. 1–8, 2016, doi: 10.1002/app.42879.
- [14] S. Aravindh and K. Umanath, “Delamination in Drilling of Natural Fibre Reinforced Polymer Composites Produced by Compression Moulding,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 766–767, pp. 796–800, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.766-767.796.
- [15] R. Vinayagamoorthy, N. Rajeswari, and S. Karthikeyan, “Investigations of Damages during Drilling of Natural Sandwich Composites,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 766–767, pp. 812–817, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.766-767.812.
- [16] E. Brinksmeier, S. Fangmann, and R. Rentsch, “Drilling of composites and resulting surface integrity,” *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 60, no. 1, pp. 57–60, 2011, doi: 10.1016/j.cirp.2011.03.077.
- [17] P. K. Bajpai and I. Singh, “Drilling behavior of sisal fiber-reinforced polypropylene composite laminates,” *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 32, no. 20, pp. 1569–1576, 2013, doi: 10.1177/0731684413492866.
- [18] M. M. A. Nassar, R. Arunachalam, and K. I. Alzebdeh, “Machinability of natural fiber reinforced composites: a review,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 88, no. 9–12, pp. 2985–3004, 2017, doi: 10.1007/s00170-016-9010-9.
- [19] R. Zitoune, V. Krishnaraj, and F. Collombet, “Study of drilling of composite material and aluminium

- stack,” *Compos. Struct.*, vol. 92, no. 5, pp. 1246–1255, 2010, doi: 10.1016/j.compstruct.2009.10.010.
- [20] M. D. Watson and K. B. Wagener, “Ethylene / Vinyl Acetate Copolymers via Acyclic Diene Metathesis Polymerization . Examining the Effect of ‘ Long ’ Precise Ethylene Run Lengths,” pp. 5411–5417, 2000.
- [21] D. Kumar, K. K. Singh, R. Zitoune, D. Kumar, K. K. Singh, and R. Zitoune, “Experimental investigation of delamination and surface roughness in the drilling of GFRP composite material with different drills Experimental investigation of delamination and surface roughness in the drilling of GFRP composite material with different dr,” vol. 0340, no. July, 2016, doi: 10.1080/20550340.2016.1187434.
- [22] I. Print, I. Online, B. Dwi, and I. Hari, “METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal Pengaruh Parameter Pemotongan dan Variasi Susunan Serat Terhadap Terbentuknya Delaminasi pada Proses Menggurdi Material Komposit Serat Nanas,” vol. 01, pp. 1–8, 2018.
- [23] I. Kurniawan *et al.*, “PENGARUH PARAMETER MENGGURDI BERTAHAP TERHADAP,” vol. 9, no. 2, pp. 245–254, 2019.
- [24] S. A. Songlin and D. John, “An approach to evaluate delamination factor when drilling carbon fiber-reinforced plastics using different drill geometries : experiment and finite element study,” 2017, doi: 10.1007/s00170-017-0880-2.
- [25] M. M. Ilham and A. Mufarrih, “Pengaruh Sudut Ujung Pahat terhadap Delaminasi pada Penggurdian Komposit KFRP Effect of Point Angle on Delamination in Drilling of KFRP Composite,” vol. 8, no. 2, 2018.
- [26] G. A. Ibrahim, J. Iskandar, A. Hamni, S. Maria, and P. Lestari, “Analisa keausan pahat pada pemesinan bor magnesium AZ31 menggunakan metode taguchi,” vol. 12, no. 1, pp. 29–35, 2017.
- [27] M. M. A. Nassar, R. Arunachalam, and K. I. Alzebdeh, “Machinability of natural fiber reinforced composites : a review,” pp. 2985–2986, 2017, doi: 10.1007/s00170-016-9010-9.
- [28] S. Jayabal and U. Natarajan, “Drilling analysis of coir-fibre-reinforced polyester composites,” *Bull. Mater. Sci.*, vol. 34, no. 7, pp. 1563–1567, 2011, doi: 10.1007/s12034-011-0359-y.
- [29] 2022. Interpret all statistics and graphs for Moving Average. Tersedia pada: <https://support.minitab.com/en-us/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/time-series/how-to/moving-average/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/#mad>. Diakses p Minitab 18, “No Title.” .
- [30] C. C. Tsao and H. Hocheng, “Taguchi analysis of delamination associated with various drill bits in drilling of composite material,” vol. 44, pp. 1085–1090, 2004, doi: 10.1016/j.ijmactools.2004.02.019.
- [31] H. Hocheng and C. C. Tsao, “Comprehensive analysis of delamination in drilling of composite materials with various drill bits,” vol. 140, pp. 335–339, 2003, doi: 10.1016/S0924-0136(03)00749-0.

- [32] A. Velayudham and R. Krishnamurthy, "Effect of point geometry and their influence on thrust and delamination in drilling of polymeric composites," vol. 185, pp. 204–209, 2007, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2006.03.146.