

# PENGARUH PARAMETER MENGGURDI BERTAHAP TERHADAP TERBENTUKNYA RASIO DELAMINASI BAIK PADA SISI MASUK MAUPUN SISI KELUAR LUBANG

Irwan Kurniawan<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 : [Iwan\\_kurniawan191085@yahoo.co.id](mailto:Iwan_kurniawan191085@yahoo.co.id)<sup>1</sup> [ismetthm70@gmail.com](mailto:ismetthm70@gmail.com)<sup>2</sup>

## Abstrak

Delaminasi merupakan salah satu jenis kerusakan kritis pada material Komposit. Delaminasi terjadi akibat sebagian dari benda kerja tidak terpotong secara sempurna akan tetapi dilakukan proses pemotongan dengan cara memberikan penekanan melalui pahat gurdi ke material, justru yang terjadi deformasi plastis disebabkan mekanisme penekanan, pada umumnya kondisi seperti ini terjadi pada material lunak yang memiliki mampu mesin yang rendah dan cenderung menghasilkan cacat seperti delaminasi baik pada bagian masuk (*Entrance*) maupun keluar lubang (*Exit*). penggunaan geometri pahat yang dimodifikasi bertingkat bukanlah merupakan kondisi yang terjadi sebenarnya. Untuk saat ini, kondisi tersebut baru dapat dipenuhi dalam skala laboratorium, untuk kondisi sebenarnya penggunaan metoda menggurdi *Step drilling (Page Drilling Cycle)* yang paling memungkinkan. Oleh karena itu pada penelitian ini difokuskan untuk melihat peluang penggunaan metoda menggurdi bertahap. Dengan menggunakan Rancangan Metode Taguchi Orthogonal Array L36 pengamatan dilakukan. Hasilnya dianalisa dengan menggunakan metoda Signal-to-Noise Ratio (S/N ratio) dan ANOVA (Analysis of Variances). Hasil dari S/N ratio mengindikasikan bahwa gerak makan kontribusinya sangat kecil untuk mengurangi delaminasi dalam suatu sistem pemotongan kemungkinan ini disebabkan karena gerak makan yang diberikan itu merupakan rentang yang kecil secara teoritis tidak akan berpengaruh besar terhadap terbentuknya delaminasi

**Kata kunci:** komposit, delaminasi, Taguchi, ANOVA

## Abstract

Delamination is a type of critical damage to composite materials. Delamination occurs due to part of the workpiece not being cut perfectly but the cutting process is carried out by giving emphasis through a chisel to the material, precisely what happens is plastic deformation due to the pressure mechanism, in general such conditions occur in soft materials that have low machine capability and tends to produce defects such as delamination both at the entrance and exit holes. the use of a stratified modified tool geometry is not an actual condition. At present, these conditions can only be met on a laboratory scale, for the actual conditions of using the most possible Step Drilling Cycle method (Drilling Cycle). Therefore, this research is focused on looking at the opportunities for using the gradual method. By using the Taguchi Orthogonal Array L36 Design Method observations were made. The results were analyzed using the Signal-to-Noise Ratio (S / N ratio) and ANOVA (Analysis of Variances) methods. The results of the S / N ratio indicate that feeding motion contributes very little to reduce delamination in a cutting system. This possibility is caused because the feed motion given is a small range theoretically will not have a major effect on the formation of delamination.

**Keywords :** Composite, Delaminations, Taguchi, ANOVA

## 1. PENDAHULUAN

Komposit baik yang diperkuat dengan serat sintetis maupun yang diperkuat dengan serat alam pada umumnya dipergunakan untuk konstruksi ringan dan tidak dalam bentuk produk akhir. Oleh karena itu, untuk menjadi produk yang fungsional, produk dari komposit akan melalui proses penggabungan (*Joining/ Assembly*). Proses penggabungan yang dipergunakan adalah proses penggabungan mekanik (*Mechanical Joining*). Untuk itu, persiapan dalam proses penggabungan produk dari material komposit kebanyakan mempergunakan proses menggurdi (*Drilling Processes*) [1]. Disebabkan material komposit berbeda dalam hal kehomogenan dan tidak isotropis dibandingkan material logam maka kualitas pembuatan lubang menjadi fokus yang perlu diperhatikan [2]. Kualitas ini biasanya tidak mampu untuk diproduksi berulang (*Reproducible*) dan delaminasi merupakan kondisi yang sering ditemui [3]. Delaminasi adalah terkelupasnya lapisan tipis pada permukaan benda kerja dan merupakan salah satu jenis kerusakan pada material komposit yang timbul pada sisi masuk (*peel up*

*delamination*) maupun sisi keluar (*push out delamination*) saat penggurdian. Delaminasi dikenal sebagai sifat kegagalan matriks yang dominan pada komposit yang berlapis-lapis (*laminate*).

Sesuai dengan telaahan yang telah dilakukan oleh Nassar dkk (2016) [4] menyimpulkan bahwa delaminasi pada proses menggurdi material komposit yang diperkuat dengan serat alam harus memperhatikan parameter proses, geometri dan material pahat, jenis cairan pendingin, serta metoda pemesinannya. Diantaranya yang paling berpengaruh menurut temuan mereka adalah parameter proses pemesinan dalam hal ini adalah gerak makan yang paling dominan. Akan tetapi seperti kesimpulan ini tidak berlaku untuk seluruh jenis serat alam yang dipergunakan sebagai penguat. Haripriadi (2017) [5], pada penelitian mengenai parameter pemotongan dan variasi susunan serat nanas terhadap terbentuknya delaminasi menemukan bahwa dengan meningkatnya kekuatan serat maka gerak makan menjadi relatif kurang berarti dibandingkan dengan geometri pahat (diameter dan sudut ujung) serta jenis cairan pendingin yang dipergunakan. Selain itu,

parameter yang berpengaruh terhadap terbentuknya delaminasi pada sisi keluar dan masuk lubang relatif berbeda. Hal ini memperlihatkan bahwa ada ketidakpastian parameter yang harus ditingkatkan pada proses menggurdi untuk meminimalisir terbentuknya delaminasi. Proses menggurdi merupakan suatu proses yang kontinu sehingga tidak dapat dilakukan dengan pemilihan parameter yang berbeda untuk kedua sisi lubang.

Seperti yang telah disimpulkan oleh Nassar dkk (2016) [4] metoda pemesinan juga akan berpengaruh terhadap terbentuknya delaminasi. Salah satu metoda dalam proses menggurdi adalah proses menggurdi bertahap (*Step drilling*), dimana daya dorong turun nya mata pahat tidak menyentuh langsung material kerja hal ini dikarenakan pahat akan turung secara perlahan hingga menyentuh benda kerja Umumnya metoda ini dipergunakan pada proses menggurdi lubang yang memiliki diameter relatif besar untuk mengurangi gaya pemotongan selama proses. Akan tetapi penelitian mengenai metoda ini dalam meminimalisir terjadinya delaminasi pada pembuatan lubang untuk material komposit masih relatif terbatas. Penelitian yang dilakukan oleh Tsao (2008) [6], Marques dkk (2009) [7], Hocheng dan Tsao (2006) [8], Tsao (2008) [9], dan Tsao (2012) [10] hanya menitikberatkan pada modifikasi geometri pahat dengan bentuk bertingkat (*Step core drill*). Kesimpulan yang mereka dapatkan, mengindikasikan bahwa penggunaan pahat dengan geometri jenis ini lebih bersahabat terhadap penurunan terbentuknya delaminasi. Hanya penggunaan geometri pahat yang dimodifikasi bertingkat bukanlah merupakan kondisi yang terjadi sebenarnya. Kondisi tersebut baru dapat dipenuhi dalam skala laboratorium. Untuk kondisi sebenarnya penggunaan metoda menggurdi bertahaplah yang paling memungkinkan. Selain dapat mengurangi gaya tekan yang menjadi pemicu utama terbentuknya delaminasi metoda ini dapat diaplikasikan dengan mempergunakan jenis pahat komersil yang ada dipasaran Oleh karena itu pada penelitian ini difokuskan untuk melihat pengaruh parameter menggurdi bertahap terhadap terbentuknya rasio delaminasi baik pada sisi masuk maupun keluar lubang

## 2. METODE

### 2.1. Bahan dan Peralatan

Pada penelitian dipergunakan material komposit berbasis termoplastik yang diperkuat dengan serat daun nanas (PALFs) sebagai bahan uji dimana serat daun nanas didapat didaerah Wonosari Barat Kec. Bengkalis, Serat

nanas dirajut (*woven*) dengan orientasi *Crossed 90°* dan *Continuous Strandmat*. Gambar 1



**Gambar 1.** Variasi susunan serat nanas jenis (a) *crossed 90°*, dan (b) *continuous strandmat (CSM)* [5]

Material tersebut berbentuk persegi panjang dengan berbentuk *Slab* dengan ukuran 250 mm x 100 mm x 15 mm. Spesimen ini terdiri dari 3 lapisan yang setiap lapisan terdapat penguat dari serat nanas dengan bentuk variasi susunan serat yaitu *crossed*, dan *continuous strandmat (CSM)* (Gambar 1). Dengan jarak antara serat dibuat dengan jarak 1 mm terlihat pada Gambar 2



**Gambar 2.** Material Komposit Dari Hasil Pencetakan

Material komposit berpenguat serat nanas digurdi dengan menggunakan Pahat gurdi *twist drill* yang terbuat dari material *High Speed Steel (HSS)* yang dilapisi dengan *cobalt*. [5] Bentuk pahat yang digunakan pada penelitian diperlihatkan pada Gambar 3.8. 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. jenis *twist drill* dengan diameter yang dipilih adalah 2 mm, 6 mm dan 10 mm.



**Gambar 3** Pahat gurdi HSS *Twist Drill* dengan *coating Cobalt*[5]

Didalam proses penggurdian material komposit yang berpenguat serat nanas digunakan bahan

pendingin adapun bahan pendingin pada penelitian ini dimaksud untuk pendingin pada proses pemrosesan gudi, adapun bahan yang digunakan terdiri atas 2 jenis yaitu:

1. Cairan Sintetis yang dipergunakan adalah jenis *Dromus* yang disemprotkan langsung ke daerah pemotongan pertemuan antara pahat dan benda kerja yang terpotong [15].
2. Minyak Kelapa Sawit (Minyak goreng curah)

Untuk menghasilkan lubang pada material komposit serat nenas dipergunakan Mesin *CNC milling*. Adapun jenis mesin yang dipergunakan adalah mesin *Emco Concept MILL 55* (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 pemrosesan seperti *speed* dan *feeding* pada proses pemrosesan.



Gambar 4. Mesin *CNC Milling* (*Mill 55*)[5]

Pada penelitian ini mikroskop digital digunakan untuk mengambil gambar sisi permukaan lubang bagian atas dan bagian bawah dari hasil penggurdian. Mikroskop ini mampu dalam mengambil *capture* 1000x pembesaran dengan resolusi tinggi, sehingga gambar yang dihasilkan akan terlihat jelas.



Gambar 5. Mikroskop Digital

Pengambilan gambar dan pengukuran diameter lubang menggunakan *Microskop Digital*. Proses langsung dilakukan setelah penggurdian selesai. Hasil *capture* dari setiap lubang nantinya akan dicopy ke program perangkat

lunak untuk mengambil gambar dari hasil proses penggurdian Melalui *software* 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 lebih jelas dapat dilihat pada gambar 6. Dengan pendekatan faktor delaminasi, sesuai persamaan 3.1.  $D_{max}$  yaitu diameter yang diukur dari *Center point*  $D_{nom}$  hingga batas terluar delaminasi.  $D_{nom}$  adalah diameter pahat Gudi. Sedangkan untuk lebih jelas mengenai pengukuran dapat dilihat pada skema pengukuran seperti pada Gambar 6



Gambar 6. Pengukuran luas area delaminasi menggunakan perangkat lunak *Diqimizer* .[11]

Untuk menghitung faktor delaminasi digunakan persamaan

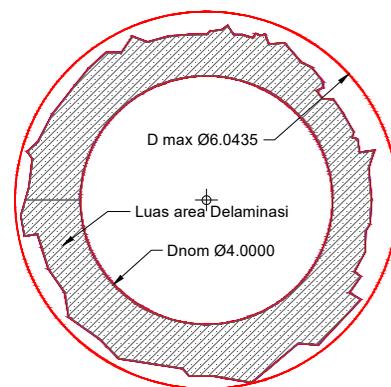
$$F_{ed} = \frac{D_e}{D_{nom}} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\left[ \frac{4(A_d + A_{nom})}{\pi} \right]^{0.5} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$A_d = \frac{A_{max}}{A_{nom}} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$F_{ed} + \frac{A_{max} - A_{nom} - A_d}{A_{max}}$$

$$F_{eda} = (F^2_{ed} - F_{ed}) \dots\dots\dots(3.4)$$



Gambar 7. Pengukuran faktor delaminasi [11]

**2.2.Perancangan Penelitian**

Pada penelitian ini dipilih rancangan dengan sususunan *Orthogonal array* Desain *Taguchi* dengan metoda statis. Metoda ini dipilih

disebabkan kemampuannya dalam mengurangi jumlah percobaan dan menunjukkan kemungkinan interaksi. Dalam pemilihan susunan *orthogonal* tergantung pada jumlah faktor atau parameter yang diamati dan jumlah tingkat atau level dari setiap faktor. Selanjutnya, berdasarkan 5 faktor yang diamati dengan 3 tingkatan untuk setiap faktornya, maka dipilih susunan *orthogonal* L36. Adapun faktor dan levelnya diperlihatkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Parameter dan tingkatannya

Sample	Faktor pengendali	Level 1	Level 2	Level 3
a.	Diameter pahat (mm)	2 mm	6 mm	10 mm
b.	Feeding (mm/rev)	0.03/0.09	0.03/0.09	0.03/0.09
c.	Sudut ujung 2 $\gamma$ (°)	80°	118°	160°
d.	Susunan serat nanas	Crossed 90°	Crossed 90° / Continuous strandmat (CSM)	Continuous strandmat (CSM)
e.	Pendinginan	Cairan sintesis (Sintetis)	Cairan sintesis (Sintetis) / (Minyak Goreng)	Minyak goreng curah (Minyak Goreng)
f.	Step Drilling (Q)	1, 1.5, 2	1, 1.5, 2	1, 1.5, 2

Berdasarkan pemilihan parameter dan tingkatnya pada Tabel 1 maka rancangan percobaan untuk penelitian ini disusun berdasarkan Tabel 2. Pada Tabel 2 terlihat ada 36 kombinasi parameter dan tingkatannya. Ke-36 kombinasi ini akan dilakukan secara berulang dengan metoda replikasi (pengulangan dilakukan setelah 36 kombinasi pertama selesai dilakukan) Tujuan pengacakan ini adalah untuk meminimalkan faktor-faktor eksternal yang tidak dipertimbangkan mempengaruhi respon.

**Tabel 2.** Susunan Orthogonal Array L36 [5]

Run	Orientasi Serat	Pending in	Diameter Pahat (mm)	feeding (mm/rev)	Sudut Ujung Pahat (2 $\gamma$ )	Step Drilling
1	Crossed 90°	Minyak goreng	2	0,03	80	1
2	Crossed 90°	Minyak goreng	6	0,06	118	1,5
3	Crossed 90°	Minyak goreng	10	0,09	160	2
4	Crossed 90°	Minyak goreng	2	0,03	80	1
5	Crossed 90°	Minyak goreng	6	0,06	118	1,5
6	Crossed 90°	Minyak goreng	10	0,09	160	2
7	Crossed 90°	Minyak goreng	2	0,03	118	2
8	Crossed 90°	Minyak goreng	6	0,06	160	1

Run	Orientasi Serat	Pending in	Diameter Pahat (mm)	feeding (mm/rev)	Sudut Ujung Pahat (2 $\gamma$ )	Step Drilling
9	Crossed 90°	Minyak goreng	10	0,09	80	1,5
10	Crossed 90°	Sintetis	2	0,03	160	1,5
11	Crossed 90°	Sintetis	6	0,06	80	2
12	Crossed 90°	Sintetis	10	0,09	118	1
13	Crossed 90°	Sintetis	2	0,06	160	1
14	Crossed 90°	Sintetis	6	0,09	80	1,5
15	Crossed 90°	Sintetis	10	0,03	118	2
16	Crossed 90°	Sintetis	2	0,06	160	1,5
17	Crossed 90°	Sintetis	6	0,09	80	2
18	Crossed 90°	Sintetis	10	0,03	118	1
19	CSM	Minyak goreng	2	0,06	80	2
20	CSM	Minyak goreng	6	0,09	118	1
21	CSM	Minyak goreng	10	0,03	160	1,5
22	CSM	Minyak goreng	2	0,06	118	2
23	CSM	Minyak goreng	6	0,09	160	1
24	CSM	Minyak goreng	10	0,03	80	1,5
25	CSM	Minyak goreng	2	0,09	118	1
26	CSM	Minyak goreng	6	0,03	160	1,5
27	CSM	Minyak goreng	10	0,06	80	2
28	CSM	Sintetis	2	0,09	118	1,5
29	CSM	Sintetis	6	0,03	160	2
30	CSM	Sintetis	10	0,06	80	1
31	CSM	Sintetis	2	0,09	160	2
32	CSM	Sintetis	6	0,03	80	1
33	CSM	Sintetis	10	0,06	118	1,5
34	CSM	Sintetis	2	0,09	80	1,5
35	CSM	Sintetis	6	0,03	118	2
36	CSM	Sintetis	10	0,06	160	1

Menganalisa hasil pengamatan dilakukan melalui dua cara. Pertama hasil analisa data secara statistik metoda *Signal-to-Noise Ratios* (S/N Ratios) *smaller is the better* dan *Analysis of Variances* (ANOVA). S/N ratios dipergunakan untuk melihat *factor effect* dari masing-masing parameter yang dipilih sehingga dapat diketahui kondisi kombinasi yang mempengaruhi respon pengamatan. Sedangkan ANOVA dipergunakan untuk mengetahui sejauh mana parameter memiliki pengaruh pada terbentuknya delaminasi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Pengaruh Parameter Penggurdi Bertahap Terhadap Terbentuknya Rasio Delaminasi Pada Sisi Masuk Maupun Keluar Lubang

##### 3.3.1. Sisi Masuk (*Entrance*)

Peningkatan kekuatan dari material komposit diperkirakan akan dapat meningkatkan mampu mesin material. Pada penelitian ini, mampu mesin direfleksikan sebagai semakin baiknya kualitas lubang yang dihasilkan. Salah satu kegagalan dalam menghasilkan kualitas lubang yang baik adalah disebabkan terjadinya delaminasi, baik pada sisi masuk (*entrance*) maupun sisi keluar lubang (*exit*). Kegagalan ini cenderung terjadi pada material yang lunak atau memiliki mampu mesin yang rendah. Pada penelitian ini, penguatan material dengan mempertimbangkan susunan seratnya diselidiki untuk melihat kemungkinan terjadinya delaminasi. Hasil penelitian untuk sisi masuk lubang diperlihatkan oleh Tabel 4.

Tabel 4 terlihat bahwa rasio delaminasi yang paling rendah, yaitu 1,093 (warna hijau) diperoleh pada proses pemotongan dengan mempergunakan pahat dengan diameter paling besar (10 mm), gerak makan moderat (0,06 mm/rev), sudut ujung pahat paling runcing (80°), susunan serat *Continuous strandmat* (CSM) dan penggunaan cairan pendingin sintesis dengan proses *Step Drilling* 1. Sedangkan rasio delaminasi paling tinggi, yaitu 1,497 (warna Merah) terjadi pada proses pemotongan yang mempergunakan pahat diameter paling kecil (2 mm), gerak makan moderat (0,06 mm/rev), sudut ujung pahat moderat (160°), susunan serat *Crossed 90°* dan penggunaan cairan pendingin Sintesis.

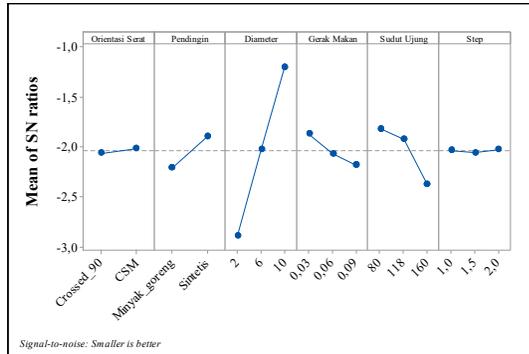
Hal yang menarik dari hasil yang bertolak belakang seperti dipaparkan di atas adalah rasio delaminasi rendah dan tinggi terjadi pada proses pemotongan *Step Drilling* yang sama yaitu *Step* 1. Sedangkan kondisi pemotongan lain memiliki nilai yang berbeda. Kondisi ini mengindikasikan bahwa gerak makan dan *Step Drilling* tidak memiliki pengaruh yang berarti pada pengujian ini. Hal ini didukung oleh dari hasil analisa *Signal-to-Noise Ratio* (*S/N Ratios*) yang ditunjukkan pada Gambar 7 Yang mana pengaruh dari faktor mengurdi bertahap (*Step Drilling*) hanya memberikan kemiringan kurva sebesar 0,083. Kemiringan kurva yang paling kecil diantara seluruh faktor/ parameter yang diamati. Hal ini dikarenakan jarak antara matrix dan pengikatnya kemungkinan terlalu jauh sehingga ketika mata pahat gurdi menyentuh pengikatnya (termoplastik) mencair terlebih dahulu sehingga terjadinya delaminasi.

**Tabel 4.** Nilai rasio delaminasi (*F<sub>d</sub>*) untuk sisi masuk lubang (*Entrance*)

NO	Diameter (mm)	Fedding (mm/r)	Sudut (2κ)°	Serat	Step Drilling	Pendingin	F <sub>daave</sub>
1	2	0,03	80	Crossed 90°	1	Minyak goreng	1,26
2	6	0,06	118	Crossed 90°	1,5	Minyak goreng	1,348
3	10	0,09	160	Crossed 90°	2	Minyak goreng	1,233
4	2	0,03	80	Crossed 90°	1	Minyak goreng	1,409
5	6	0,06	118	Crossed 90°	1,5	Minyak goreng	1,258
6	10	0,09	160	Crossed 90°	2	Minyak goreng	1,206
7	2	0,03	118	Crossed 90°	2	Minyak goreng	1,341
8	6	0,06	160	Crossed 90°	1	Minyak goreng	1,362
9	10	0,09	80	Crossed 90°	1,5	Minyak goreng	1,148
10	2	0,03	160	Crossed 90°	1,5	Sintesis	1,489
11	6	0,06	80	Crossed 90°	2	Sintesis	1,215
12	10	0,09	118	Crossed 90°	1	Sintesis	1,125
13	2	0,06	160	Crossed 90°	1	Sintesis	1,497
14	6	0,09	80	Crossed 90°	1,5	Sintesis	1,206
15	10	0,03	118	Crossed 90°	2	Sintesis	1,135
16	2	0,06	160	Crossed 90°	1,5	Sintesis	1,31
17	6	0,09	80	Crossed 90°	2	Sintesis	1,294
18	10	0,03	118	Crossed 90°	1	Sintesis	1,115
19	2	0,06	80	CSM	2	Minyak goreng	1,465
20	6	0,09	118	CSM	1	Minyak goreng	1,288
21	10	0,03	160	CSM	1,5	Minyak goreng	1,224
22	2	0,06	118	CSM	2	Minyak goreng	1,337
23	6	0,09	160	CSM	1	Minyak goreng	1,321
24	10	0,03	80	CSM	1,5	Minyak goreng	1,137
25	2	0,09	118	CSM	1	Minyak goreng	1,457
26	6	0,03	160	CSM	1,5	Minyak goreng	1,311
27	10	0,06	80	CSM	2	Minyak goreng	1,147
28	2	0,09	118	CSM	1,5	Sintesis	1,378
29	6	0,03	160	CSM	2	Sintesis	1,206
30	10	0,06	80	CSM	1	Sintesis	1,093
31	2	0,09	160	CSM	2	Sintesis	1,404
32	6	0,03	80	CSM	1	Sintesis	1,226
33	10	0,06	118	CSM	1,5	Sintesis	1,138
34	2	0,09	80	CSM	1,5	Sintesis	1,344
35	6	0,03	118	CSM	2	Sintesis	1,167
36	10	0,06	160	CSM	1	Sintesis	1,154

Selanjutnya, berdasarkan hasil analisa *S/N ratios* (Gambar 8), yang memberikan kemiringan kurva pengaruh yang besar secara berturut-turut adalah cairan pendingin, diameter pahat, sudut ujung dan susunan serat. Akan tetapi berdasarkan hasil analisa statistik *Analisis of Variances* (ANOVA) (Tabel 5),

hanya diameter pahat dan jenis Sudut ujung yang memiliki pengaruh yang berarti terhadap tinggi/ rendahnya nilai rasio delaminasi. Hal ini diindikasikan dari nilai P-value yang lebih rendah dari nilai P-value yang ditetapkan untuk 95% tingkat keyakinan (*Confident Factor*), yaitu  $P \leq 0,05$ .



**Gambar 8.** Hasil analisa S/N ratios dari pengaruh parameter terhadap nilai rasio delaminasi pada sisi masuk lubang

Adapun yang menyebabkan diameter pahat , gerak makan dan jenis Sudut ujung pahat yang memiliki pengaruh penting pada penelitian ini adalah disebabkan oleh perbedaan variasi yang berarti antara diameter pahat 2 mm, 6 mm dan 10 mm dan antara cairan pendingin jenis minyak goreng dengan cairan pendingin jenis sintesis. Variasi dari tingkatan (level) dari kedua parameter inilah yang menyebabkan mereka memiliki pengaruh yang berarti pada penelitian ini.

**Tabel 5.** Analisis of Variances (ANOVA)

Source	D F	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
OrientasiSerat	1	0,015	0,028	0,028	0,45	0,52
		2	98	98		5
Pendingin	1	0,827	0,742	0,742	11,4	0,01
		1	41	41	9	2
Diameter	2	15,70	3,228	1,614	24,9	0,00
		94	84	42	8	1
GerakMakan	2	0,154	0,185	0,092	1,44	0,3
		9	57	78		
Sudut Ujung	2	1,166	0,030	0,015	0,24	0,79
		7	92	46		3
Step	2	0,059	0,300	0,150	2,33	0,16
		7	92	46		8
OrientasiSerat*Sudut Ujung	2	0,250	0,317	0,158	2,46	0,15
		4	36	68		6
Pendingin*Diameter	2	0,181	0,489	0,244	3,79	0,07
		78	89			7
Pendingin*Sudut Ujung	2	0,133	0,133	0,066	1,03	0,40
		5	53	76		4
Residual Error	7	0,452	0,452	0,064		
		4	43	63		
Total	32	20,23				
		37				

Sedangkan variasi tingkatan dari Step dan susunan serat tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap rasio delaminasi pada penelitian ini. Hal ini diperlihatkan dari jarak residual yang pendek antara tingkatan untuk keempat parameter yang disebut di atas. Dengan perbedaan jarak residual yang tidak terlalu besar menyebabkan variasi dari Step dan susunan serat tidak dapat mempengaruhi nilai

rasio delaminasi secara berarti. Walaupun memiliki kemiringan kurva yang relatif besar (Gambar 8) yang mengindikasikan bahwa variasi nilai Step Drilling dan susunan serat akan menyebabkan perubahan terhadap nilai rasio delaminasi.

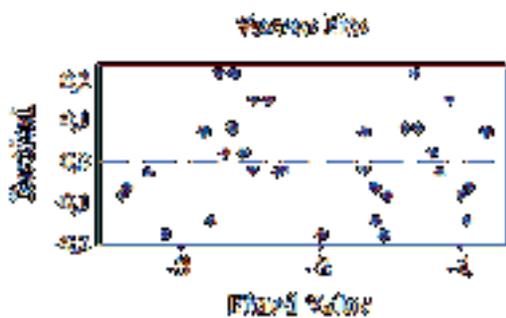
Akan tetapi terutama untuk parameter Step Drilling ; walaupun memiliki nilai P-value mendekati nilai P-value yang ditetapkan, masih memiliki peluang sebagai parameter yang berpengaruh secara statistik. Hal ini didukung oleh penelitian , bertahapnya kecepatan turun mata pahat akan menurunkan gaya tekan yang terjadi pada proses penggurdian (Haijin, 2016) [12]. Gaya tekan yang lebih rendah menyebabkan delaminasi lubang masuk menurun (Azmi, 2012) [13], sehingga bertahapnya kecepatan turun mata pahat akan menurunkan delaminasi lubang masuk akan mempengaruhi nilai rasio delaminasi Hanya, hasil penelitian tersebut diuji secara statistik sehingga tidak dapat didefinisikan dengan pasti apakah perubahan nilai rasio delaminasi disebabkan variasi Step Drilling memberikan kontribusi yang berarti. Pada penelitian ini; jika hanya melihat akibat variasi Step Drilling , juga mengindikasikan perubahan dari nilai rasio delaminasi seperti dapat dilihat pada Gambar 8 yang mana akibat perbedaan pemilihan Step Drilling menyebabkan perbedaan nilai rasio delaminasi.

Sedangkan nilai rasio delaminasi yang paling kecil pada sisi masuk diberikan oleh Step 1 dengan sudut ujung yang kecil, yaitu 80°. Yang mana hal ini bertolak belakang dengan temuan Heisela dan Pfeifroth (2012) [14]. Akan tetapi jika merujuk pada kurva S/N ratios (Gambar 8) hasil dari penelitian ini tidak seutuhnya bertentangan dengan penelitian sebelumnya. Merujuk pada pernyataan dari Nassar dkk (2016) [4], pembentukan delaminasi pada sisi lubang masuk terjadi karena adanya gaya tekan aksial sehingga akan memisahkan lempengan serat nanas . Proses pemisahan lempengan serat akan berakibat pada tertekannya bagian atas dari lubang yang terbentuk sehingga terbentuk delaminasi. Tekanan aksial yang rendah yang diberikan oleh pahat mendukung pernyataan tersebut. Tekanan aksial rendah akan diberikan oleh sudut ujung yang kecil sehingga kontak penampang pahat dan benda kerja menjadi kecil pada setiap perpindahan pahat pada setiap putarannya.

Mengacu pada kesimpulan yang diberikan oleh Nassar dkk (2016) [4], maka dapat diasumsikan bahwa gaya tekan aksial merupakan gaya karena pengaruh gerak makan (*thrust forces*). Berdasarkan hal tersebut, Kahwash dkk (2017)[15] pada proses menggurdi benda kerja komposit menarik kesimpulan bahwa susunan

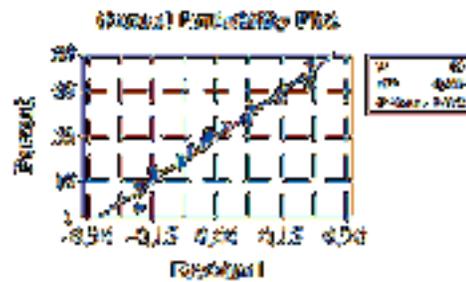
serat 90° memberikan nilai gaya tekan yang lebih rendah dibandingkan susunan serat lainnya. Disebabkan oleh gaya tekan yang rendah sehingga proses pemisahan lempeng penguat tidak terjadi secara tiba-tiba. Sebagai akibatnya, rasio delaminasi yang dihasilkan pada susunan serat lebih besar akan semakin rendah. Kondisi ini mendukung hasil S/N ratio pada penelitian ini untuk terbentuknya delaminasi pada sisi lubang masuk.

Selain itu, berkurangnya sensitivitas susunan serat terhadap delaminasi dipengaruhi oleh peningkatan nilai *Compression-After-Impact* (CAI). Semakin tinggi nilai CAI maka nilai kekuatan impak akan semakin rendah. Kekuatan impak yang rendah berarti kemampuan menyerap energi dari benda kerja juga menjadi rendah. Oleh karena itu serat yang dijalin dengan susunan 90° memiliki kemampuan menyerap energi yang lebih tinggi Akan tetapi regangan dari komposit yang dibuat dalam bentuk mat memiliki regangan yang lebih panjang dibandingkan susunan serat lainnya . Oleh karena itu CSM pada pengamatan memberikan kemungkinan nilai rasio delaminasi yang rendah pada penelitian ini. Sehingga perlu dilakukan konfirmasi test untuk meyakinkan apakah susunan serat 90o memberikan nilai rasio delaminasi yang lebih rendah dibandingkan pada penggunaan serat jenis CSM.



**Gambar 9.** Distribusi Nilai Rasio Delaminasi Terhadap Nilai Residual Untuk Setiap Kombinasi Parameter Yang Diamati

Walaupun demikian, rasio delaminasi yang dihasilkan menunjukkan kecenderungan berada pada nilai residual positif dan negatif yang sama (seimbang). Jika diasumsikan bahwa rentang nilai residual yang memperlihatkan distribusi nilai residual yang seimbang adalah  $\pm 0,1$ , maka teridentifikasi sebanyak hanya 18,5% nilai rasio delaminasi yang berada di luar rentang tersebut. Akan tetapi jika rentang ini dinaikan menjadi  $\pm 0,2$  dengan catatan bahwa distribusi nilai residual pada rentang ini masih seimbang, maka akan teridentifikasi hanya ada 5,8% nilai rasio delaminasi yang tidak berada pada kelompok yang sama (*outliers*) (Gambar 9). Dengan kata lain variasi rasio delaminasi untuk pengukuran masih dalam batas yang dianggap wajar.



**Gambar 10.** Hasil Normalitas Data Terhadap Nilai residual

Kondisi ini terjadi kemungkinan disebabkan kesalahan paralaks. Kesalahan paralaks yang terjadi akibat beda sudut pandang pada saat pengukuran rasio delaminasi dari hasil gambar yang diambil dengan mempergunakan mikroskop. Hal ini menyebabkan ukuran garis pengukuran tidak menggambarkan nilai yang sebenarnya. Analisa ini juga didukung oleh hasil *Normal Probability Plot* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 10 . Yang mana hanya ada tiga titik residual yang berada di luar garis pendekatan (garis lurus). Akan tetapi secara keseluruhan data dapat dikatakan terdistribusi normal sehingga hasil dari penelitian ini dapat dikatakan relatif *valid* untuk menarik kesimpulan.

### 3.3.2. Sisi Keluar (Exit)

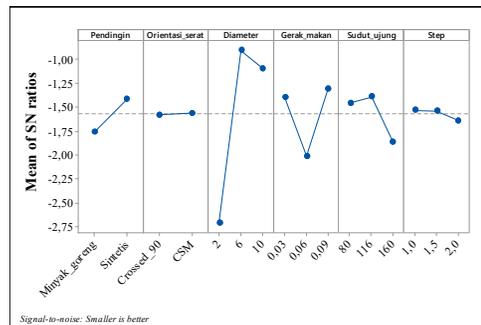
Seperti halnya pada bagian masuk lubang (*Entrance*), pengamatan terbentuknya delaminasi juga dilakukan pada bagian keluar lubang (*Exit*). Hasil pengamatan terbentuknya delaminasi akibat pengaruh beberapa parameter pemotongan dan susunan serat diperlihatkan pada Tabel 6 Dari Tabel 4 terlihat bahwa diameter moderat (6 mm), gerak makan yang kecil (0,03 mm/r), sudut ujung pahat moderat (80°), susunan serat *Continuous strandmat* (CSM) dan cairan pendingin sintetis memberikan kemungkinan terbentuknya delaminasi yang kecil pada saluran keluar lubang. Sedangkan rasio delaminasi yang besar disebabkan oleh pemilihan diameter pahat yang kecil (2 mm), gerak makan moderat (0,06 mm/r), sudut ujung pahat moderat (160), dan penggunaan sintetis sebagai media pendingin pahat serta susunan serat dengan orientasi serat Crossed 90°

Selanjutnya, terbentuknya delaminasi baik dengan rasio rendah maupun tinggi pada sisi keluar lubang dipengaruhi oleh parameter pemotongan yang berbeda , yaitu sudut ujung pahat dengan nilai moderat (80 dan 160 ). Hal ini menggambarkan bahwa parameter sudut ujung pahat dengan nilai moderat tersebut akan menyebabkan perubahan terhadap nilai rasio delaminasi.

Akan tetapi berdasarkan hasil analisa *Signal-to-Noise Ratios* dengan pendekatan *smaller is the better* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 11, *Step Drilling* pahat memberikan kemiringan kurva dengan nilai ranking keempat . Yang mana, walaupun berada di bawah diameter pahat dan gerak makan , secara statistik; melalui *Analysis of Variances* (ANOVA) seperti yang diperlihatkan pada Tabel 7, proses pengurdian secara *Step Drilling* memiliki pengaruh yang berarti. Hal ini disebabkan nilai *P-value*-nya rendah dari yang ditetapkan pada tingkat keyakinan 95%, yaitu sekitar 0,60. Sedangkan yang memiliki ranking pertama dan kedua adalah berturut-turut diameter pahat dan gerak makan yang dipilih.

**Tabel 6.** Nilai Rasio Delaminasi (Fd) Untuk Sisi Keluar Lubang (*Exit*)

NO	Diameter Fedding Sudut			Serat	Step Drilli	Pendingin	Fedaave
	(mm)	(mm/r)	(2kr)o				
1	2	0,03	80	Crossed 90o	1	Minyakgoren	1,474
2	6	0,06	118	Crossed 90o	1,5	Minyakgoren	1,099
3	10	0,09	160	Crossed 90o	2	Minyakgoren	1,131
4	2	0,03	80	Crossed 90o	1	Minyakgoren	1,198
5	6	0,06	118	Crossed 90o	1,5	Minyakgoren	1,114
6	10	0,09	160	Crossed 90o	2	Minyakgoren	1,121
7	2	0,03	118	Crossed 90o	2	Minyakgoren	1,299
8	6	0,06	160	Crossed 90o	1	Minyakgoren	1,116
9	10	0,09	80	Crossed 90o	1,5	Minyakgoren	1,149
10	2	0,03	160	Crossed 90o	1,5	Sintetis	1,342
11	6	0,06	80	Crossed 90o	2	Sintetis	1,157
12	10	0,09	118	Crossed 90o	1	Sintetis	1,121
13	2	0,06	160	Crossed 90o	1	Sintetis	1,696
14	6	0,09	80	Crossed 90o	1,5	Sintetis	1,104
15	10	0,03	118	Crossed 90o	2	Sintetis	1,144
16	2	0,06	160	Crossed 90o	1,5	Sintetis	1,597
17	6	0,09	80	Crossed 90o	2	Sintetis	1,114
18	10	0,03	118	Crossed 90o	1	Sintetis	1,122
19	2	0,06	80	CSM	2	Minyakgoren	1,462
20	6	0,09	118	CSM	1	Minyakgoren	1,099
21	10	0,03	160	CSM	1,5	Minyakgoren	1,116
22	2	0,06	118	CSM	2	Minyakgoren	1,415
23	6	0,09	160	CSM	1	Minyakgoren	1,135
24	10	0,03	80	CSM	1,5	Minyakgoren	1,167
25	2	0,09	118	CSM	1	Minyakgoren	1,27
26	6	0,03	160	CSM	1,5	Minyakgoren	1,088
27	10	0,06	80	CSM	2	Minyakgoren	1,139
28	2	0,09	118	CSM	1,5	Sintetis	1,172
29	6	0,03	160	CSM	2	Sintetis	1,102
30	10	0,06	80	CSM	1	Sintetis	1,116
31	2	0,09	160	CSM	2	Sintetis	1,303
32	6	0,03	80	CSM	1	Sintetis	1,093
33	10	0,06	118	CSM	1,5	Sintetis	1,111
34	2	0,09	80	CSM	1,5	Sintetis	1,214
35	6	0,03	118	CSM	2	Sintetis	1,096
36	10	0,06	160	CSM	1	Sintetis	1,126



**Gambar 11.** Hasil analisa S/N Ratios Dari Pengaruh Parameter Terhadap Nilai Rasio Delaminasi Pada Sisi Keluar Lubang

Pada pengamatan terbentuknya delaminasi pada sisi keluar lubang terindikasi bahwa hanya orientasi serat yang tidak memberi pengaruh terhadap tinggi rendahnya nilai rasio delaminasi pada proses menggurdi lubang pada material komposit dengan penguat serat nanas. Sedangkan secara statistik nilai *P-value* untuk *Step* hampir mendekati nilai *P-value* yang ditetapkan yaitu 0,54 dengan tingkat keyakinan 95%.

**Tabel 7.** Hasil Analysis of Variances (ANOVA) untuk pengaruh parameter terhadap rasio delaminasi pada sisi keluar lubang (*Exit*)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pendingin	1	0,949	0,69806	0,69806	4,18	0,08
Orientasi_serat	1	0,024	0,00011	0,00011	0	0,98
Diameter	2	21,6	2,52982	1,26491	7,58	0,018
Gerak_makan	2	2,691	0,2101	0,10505	0,63	0,561
Sudut_ujung	2	0,998	0,07874	0,03937	0,24	0,796
Step	2	0,108	0,18189	0,09095	0,54	0,603

Jika merujuk pada grafik ANOVA pada Gambar 14, hal ini kemungkinan disebabkan kekuatan antara susunan serat *Continuos Strandmat* (CSM) dan 90<sup>0</sup> tidak sama. Akibatnya, pemilihan kedua jenis susunan serat tersebut akan mengurangi efek yang ditimbulkan terhadap respon. Selain itu jika memperhatikan kombinasi parameter yang mempengaruhi nilai rasio delaminasi tinggi dan rendah pada Tabel 7 , kedua jenis susunan serat ini memiliki kontribusi untuk menghasilkan nilai rasio delaminasi tinggi dan rendah.

**Tabel 8.** Hasil analisa grafik dari metoda ANOVA

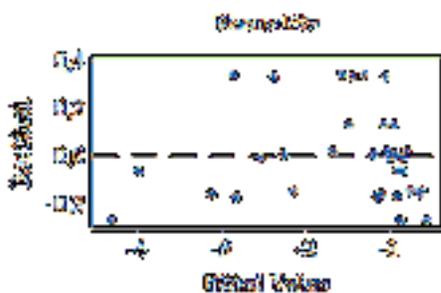
Level	Pendingin	Orientasi_serat	Diameter	Gerak_makan	Sudut_ujung	Step
1	-1,7558	-1,5808	-2,7088	-1,3932	-1,4569	-1,531
2	-1,4152	-1,561	-0,9057	-2,0095	-1,3904	-1,5377
3			-1,0955	-1,3073	-1,8627	-1,6413
Delta	0,3406	0,0198	1,8031	0,7022	0,4723	0,1102
Rank	4	6	1	2	3	5

Selanjutnya, pada pengamatan terbentuknya delaminasi pada sisi keluar lubang terdapat kemungkinan bahwa susunan serat memiliki pengaruh yang berarti. Hal ini tergambar dari nilai *P-value* yang hampir mendekati nilai *P-value* untuk tingkat keyakinan 95% (*P-value* ≤ 0,05). Yang mana, sama halnya dengan hasil pengamatan pada sisi masuk lubang, susunan

serat Crossed 90° memberikan nilai rasio delaminasi yang lebih besar dari hasil analisa S/N ratios. Akan tetapi hasil pengamatan memperlihatkan bahwa nilai rasio delaminasi yang rendah akan terjadi apabila benda kerja komposit serat nanas mempergunakan susunan serat CSM. Alasan kenapa kondisi ini terjadi disebabkan oleh argumen yang sama dengan kondisi yang terjadi pada sisi lubang masuk. Sehingga baik untuk sisi lubang masuk maupun sisi lubang keluar susunan serat yang mampu menyerap energi lebih besar menjadi dominan terhadap penurunan nilai rasio delaminasi.

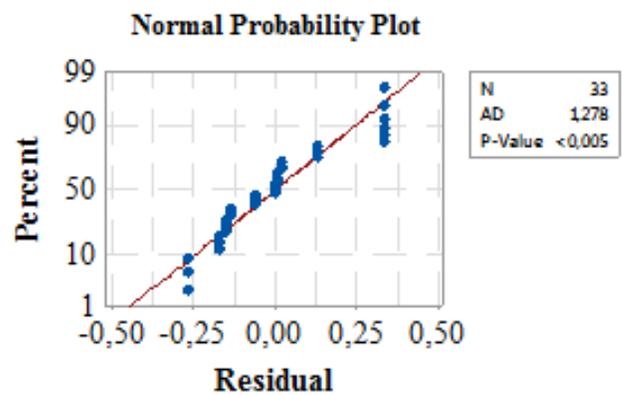
Menurut Nassar dkk (2016) [4], terjadinya delaminasi pada sisi keluar lubang disebabkan ketahanan terhadap deformasi dari material komposit menurun yang terjadi karena semakin kecil ukuran tebal geram sebelum terpotong (*undeformed chip thickness*). Tebal geram sebelum terpotong pada proses menggurdi sebanding dengan perkalian antara gerak makan (f) dengan sinus dari setengah dari sudut ujung atau sudut potong utama ( $2\kappa_r$ ). Jika mengacu pada hubungan tersebut maka yang memiliki nilai geram sebelum terpotong pada pengamatan delaminasi pada sisi keluar lubang adalah kombinasi gerak makan paling rendah (0,03mm/rev) dan sudut ujung paling rendah (80°) dengan proses penggurdian *Step Drilling* 1. Kondisi ini sesuai dengan kombinasi yang disarankan dari hasil analisa S/N ratios yang diperlihatkan oleh Gambar 11

Selain itu menurut Capello (2004) [16] dan Tsao dan Ho (2005) [8] pada sisi keluar lubang mata pahat gurdi akan cenderung memberikan pengaruh “memukul (*punching*)” dibandingkan memotong. Hal ini disebabkan karena tebal geram sebelum terpotong yang rendah. Kondisi ini yang menyebabkan kombinasi parameter pemotongan yang berbeda pada pengamatan/ penelitian dibandingkan hasil analisa. Yang mana dari hasil pengamatan kombinasi antara sudut ujung yang moderat (80 °) harus berdampingan dengan susunan serat CSM. Sedangkan pada hasil analisa sudut ujung lebih besar yang berpasangan dengan susunan serat 90° untuk menghasilkan nilai rasio delaminasi yang besar.



Gambar 12. Distribusi Nilai Rasio Delaminasi Terhadap Nilai Residual Untuk Setiap Kombinasi Parameter Yang Diamati

Selanjutnya jika diperhatikan penyebaran nilai residual untuk setiap kombinasi, kemungkinan terjadinya penyimpangan hasil pengujian yang cukup besar pada nilai rasio delaminasi pada sisi keluar lubang kecil. Hal ini didukung oleh hasil analisa residual yang diperlihatkan pada Gambar 12. Yang mana pada distribusi nilai residual yang seimbang pada angka  $\pm 0,0$ , hanya terjadi sebesar 9,3%. Selanjutnya jika nilai residual ditingkatkan menjadi  $\pm 0,4$ , maka tidak ditemui adanya penyimpangan. Hal ini mengindikasikan bahwa nilai rasio delaminasi yang tidak berada pada kelompok yang sama (*outliers*) di bawah 10% atau masih dalam batas kewajaran. Selain itu kalau melihat hasil uji normalitas data terhadap nilai residualnya (Gambar 13), maka dapat disimpulkan bahwa data yang menyimpang dari garis lurus terindikasi minimal. Dengan kata lain, kesimpulan yang diambil dari hasil penelitian dapat dianggap *valid*.



Gambar 16. Hasil Normalitas Data Terhadap Nilai Residual

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian untuk mengetahui Pengaruh Parameter Penggurdi Bertahap Terhadap Terbentuknya Rasio Delaminasi Baik Pada Sisi Masuk maupun Keluar Lubang pada proses pembuatan lubang telah dilakukan. Untuk itu ada beberapa kesimpulan yang dapat ditarik, yaitu:

Delaminasi terjadi disebabkan bagian dari serat penguat yang tidak terpotong sesuai dengan diameter pahat, serat yang tidak terpotong akan terbawa oleh sudut helix pahat yang berputar turun. Kondisi ini menyebabkan bagian permukaan dari material komposit yang panas (cendrung melunak) akan mengalami perubahan bentuk oleh putaran pahat dan bagian yang tidak terpotong secara utuh oleh pahat

Pengaturan jarak serat penguat memberikan pengaruh terhadap pembentukan delaminasi baik dilubang sisi masuk maupun sisi keluar. Delaminasi terjadi makin besar disaat lapisan

serat penguat semakin mendekati permukaan, dengan arti tipisnya matrik yang melapisi permukaan diatas atau dibawahnya. Membuatnya tidak bisa menahan gaya dorong pahat sehingga menyebabkan lepasnya ikatan antar matrik dan serta pada permukaan yang tipis, sebaliknya semakin jauh posisi penempatan penguat dari permukaan atas material komposit maka rasio delaminasi (Fd) yang terjadi juga semakin kecil

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. N. SAHEB and J. JOG, "Natural fiber polymer composites: a review," *Adv. Polym. Technol.*, vol. 18, no. 4, pp. 351–363, 1999.
- [2] D. H. D.P., And K. G. R. U. Of H. At M. Bartholomew, R.E. Paull, "The Pineapple: Botany, Production, And Uses," *Pineapple Bot. Prod. Uses*, Hal. 121–130, 2003.,” *Pineapple Bot. Prod. Uses*,” *Pineapple Bot. Prod. Uses*, Hal. 121–130, 2003.
- [3] E. Uhlmann, F. Sammler, S. Richarz, F. Heitmüller, and M. Bilz, "Machining of Carbon Fibre Reinforced Plastics," *Procedia CIRP*, vol. 24, no. Mic, pp. 19–24, 2014.
- [4] M. M. A. Nassar, R. Arunachalam, and K. I. Alzebeid, "Machinability of natural fiber reinforced composites: a review," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2016.
- [5] B.D.Haripriadi, "Pengaruh parameter pemotongan dan variasi susunan serat nanas terhadap delaminasi pada proses gurdi komposit serat nanas." 2017.
- [6] C. C. Tsao, "Experimental study of drilling composite materials with step-core drill," *Mater. Des.*, vol. 29, no. 9, pp. 1740–1744, 2008.
- [7] A. T. Marques, L. M. Durão, A. G. Magalhães, J. F. Silva, and J. M. R. S. Tavares, "Delamination analysis of carbon fibre reinforced laminates: Evaluation of a special step drill," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 69, no. 14, pp. 2376–2382, 2009.
- [8] H. Hocheng and C. C. Tsao, "Effects of special drill bits on drilling-induced delamination of composite materials," vol. 46, pp. 1403–1416, 2006.
- [9] C. C. Tsao, "Prediction of thrust force of step drill in drilling composite material by Taguchi method and radial basis function network," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 36, no. 1–2, pp. 11–18, 2008.
- [10] C. C. Tsao, "International Journal of Machine Tools & Manufacture Effect of induced bending moment ( IBM ) on critical thrust force for delamination in step drilling of composites," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 59, pp. 1–5, 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] (2016) Haijin, W., Jie, S., Jianfeng, L., Laixiao, L., Nan, L., "Evaluation of Cutting Force and Cutting Temperature in Milling Carbon Fiber-reinforced Polymer Composites," *International Journal Advance Manufacturing Technology*, Vol. 82, No. 9, hal 1517-1525."
- [13] Azmi, A. I., (2012), "Machinability Study of Fibre-Reinforced Polymer Matrix Composites", Tesis Ph. D., University of Auckland, New Zeland."
- [14] 2012 Heisela, U., dan T. Pfeifroth, . "Influence of Point Angle on Drill Hole Quality and Machining Forces when Drilling CFRP. *Procedia CIRP*, 1:471–476]."
- [15] Kahwash, F., I. Shyha dan A. Maheri, "An Investigation into the Dependency of Cutting Forces on the Volume. *Materials Science Forum*. 882:pp 61-65."
- [16] E. Capello, "Workpiece damping and its effect on delamination damage in drilling thin composite laminates," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 148, no. 2, pp. 186–195," 2004.