

## Analisa Kebulatan pada Proses Drilling Material KFRP

AM. Mufarrih<sup>1)</sup>, Agus Harijono<sup>2)</sup>, Utsman Syah Amrullah<sup>3)</sup>,  
Nanang Qosim<sup>4)</sup>, Zakki Fuadi Emzain<sup>5)</sup>

<sup>1,2,3,4,5)</sup> Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang

E-mail: <sup>1)</sup>[mufarrih@polinema.ac.id](mailto:mufarrih@polinema.ac.id)

### Abstrak

Proses drilling merupakan proses pemesinan yang paling banyak digunakan di industri otomotif dan manufaktur. Kinerja proses drilling pada material Komposit KFRP bisa diukur dengan karakteristik kualitas seperti kekasaran permukaan, *burr height*, kebulatan, konsumsi daya, gaya tekan dan delaminasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi variabel bebas sudut ujung pahat dan kecepatan makan terhadap variabel respon kebulatan. Rancangan percobaan menggunakan metode full faktorial yang berupa orthogonal array  $L_9$  dengan replikasi sebanyak dua kali. Variabel bebas yang divariasikan adalah sudut ujung pahat ( $100^\circ$ ,  $118^\circ$ ,  $140^\circ$ ) dan kecepatan makan (50 mm/menit, 115 mm/menit dan 180 mm/menit). Variabel respon yang diamati adalah kebulatan. Proses drilling dilakukan menggunakan mesin CNC Milling. Pahat yang digunakan adalah twist drill HSS Nachi diameter 10 mm. ANOVA digunakan untuk mengetahui variabel-variabel bebas yang memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel respon yang diamati. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut ujung pahat dan kecepatan makan berpengaruh signifikan terhadap respon kebulatan. Peningkatan sudut ujung pahat dan kecepatan makan akan meningkatkan penyimpangan kebulatan, sehingga agar diperoleh profil kebulatan yang baik, maka perlu menggunakan sudut ujung pahat yang kecil serta kecepatan makan yang rendah.

Kata Kunci: Drilling; komposit KFRP; sudut ujung pahat; kecepatan makan; kebulatan.

### Abstract

*The drilling process is the most widely used machining process in the automotive and manufacturing industries. The performance of the drilling process on KFRP composite materials can be measured by quality characteristics such as surface roughness, burr height, roundness, power consumption, thrust force and delamination. This study aims to determine the effect of variations in the independent variable point angle and feeding speed on the roundness response variable. The experimental design used the full factorial method in the form of an orthogonal array  $L_9$  with two replications. The independent variables varied were the point angle ( $100^\circ$ ,  $118^\circ$ ,  $140^\circ$ ) and feeding speed (50 mm/minute, 115 mm/minute and 180 mm/minute). The observed response variable is roundness. The drilling process is carried out using a CNC Milling machine. The tool used was the HSS Nachi twist drill with a diameter of 10 mm. ANOVA is used to determine the independent variables that have a significant influence on the observed response variable. The results showed that the cutting edge angle and feeding speed had a significant effect on the roundness response. Increasing the point angle and feeding speed will increase the roundness deviation, so that in order to obtain a good round profile, it is necessary to use a small point angle and low feeding speed.*

Keywords: Drilling; KFRP composite; point angle; feeding speed; roundness.

## 1. PENDAHULUAN

Proses drilling merupakan proses pemesinan yang bertujuan untuk membuat lubang yang berbentuk silindris pada benda kerja. Hasil proses drilling digunakan untuk perakitan antara suatu komponen mesin dengan komponen mesin yang lainnya. Proses drilling merupakan proses pemesinan yang paling banyak digunakan di industri otomotif dan manufaktur. Bahkan berdasarkan data yang diperoleh, biaya pembuatan lubang merupakan biaya pemesinan terbesar dalam industri otomotif dan manufaktur [1].

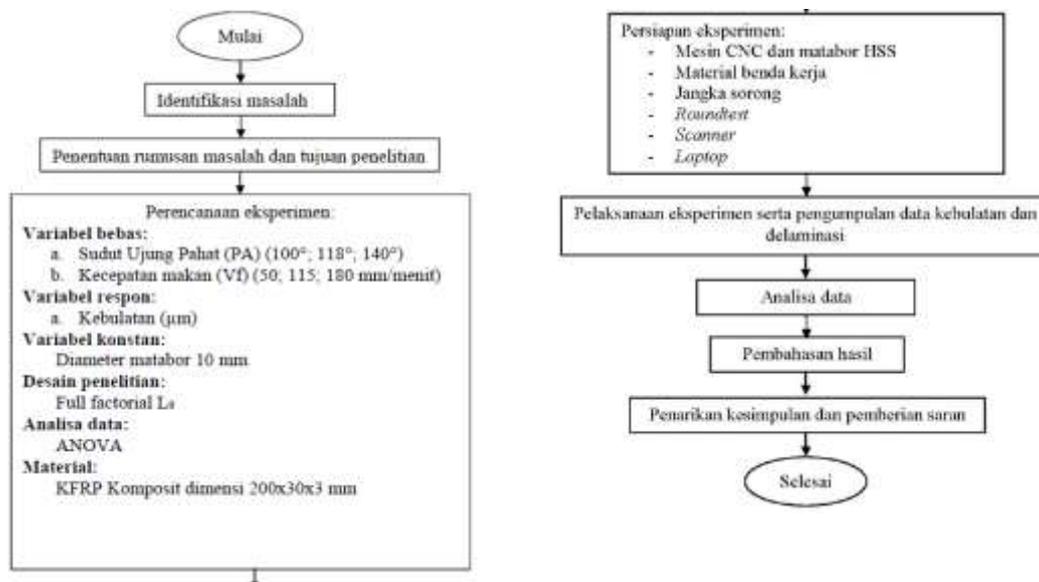
Material komposit menjadi salah satu pilihan utama pada proses perakitan di industri manufaktur, hal ini karena komposit memiliki karakteristik kualitas unik yang tidak dimiliki oleh jenis material konvensional lainnya [2]. Kevlar fiber reinforced polymer (KFRP) merupakan jenis komposit yang memiliki sifat-sifat sebagai berikut [3]: gaya tarik yang tinggi, kekerasan yang tinggi, tahan terhadap bahan kimia, kepadatan yang rendah, tahan panas, struktur yang kuat dan ringan bahkan lima kali lebih kuat dibandingkan besi serta tahan terhadap korosi. Komposit KFRP biasanya digunakan di industri otomotif, industri manufaktur, industri tangki, pesawat terbang, peralatan militer dan pesawat antariksa.

Kinerja dari proses penggurdian pada material komposit dapat diukur berdasarkan beberapa karakteristik kualitas seperti gaya tekan, kekasaran permukaan, delaminasi, keausan tepi pahat dan burr height [4]. Faktor paling signifikan yang mempengaruhi akurasi lubang adalah kecepatan potong dan gerak makan [5]. Geometri pahat, terutama sudut ujung pahat, sangat mempengaruhi kinerja proses drilling komposit dalam hal kerusakan akibat pemesinan [6]. Penelitian tentang kebulatan pernah dilakukan oleh karatas pada tahun 2020, hasil penelitiannya menunjukkan bahwa bahwa pilot drilling dapat meningkatkan sudut kerf lubang sebesar 12,4% dan penyimpangan kebulatan sebesar 22,87% [7]. Bosco pada tahun 2019 melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh dari parameter input terhadap penyimpangan kebulatan yang dianalisis secara terpisah untuk panel atas dan bawah. Nilai kesalahan kebulatan sangat kecil untuk panel GFRP bagian bawah dan ini karena getaran yang dialami bor lebih sedikit karena mendapat perlindungan dari panel logam tengah [8].

Penelitian ini menggunakan Komposit KFRP sebagai spesimen uji dan mengamati pengaruh variabel bebas sudut ujung pahat dan kecepatan makan terhadap variabel respon kebulatan.

## 2. METODE PENELITIAN

Rancangan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah *full factorial*  $L_9$ . Analisis data menggunakan ANOVA dengan bantuan *software minitab 16*. Pengaturan variabel bebas pada mesin gurdi merujuk pada penelitian-penelitian terdahulu. Langkah-langkah penelitian mengikuti diagram alir seperti Gambar 1. Sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

### Alat dan Bahan

Mesin yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin frais CNC YCM MV 86A. Mata bor yang digunakan adalah Twist drill HSS Nachi diameter 10 mm. Material penelitian menggunakan komposit KFRP berdimensi 200 mm x 30 mm x 3 mm. Material komposit KFRP yang digunakan ini merupakan hasil produksi dari PT. Dirgantara Indonesia. Komposit KFRP ini mempunyai kekuatan tarik sebesar 515 MPa, shear modulus sebesar 8.45 Gpa, density sebesar 1.35 g/cm<sup>3</sup> dan tensile modulus sebesar 25 GPa [2]. Proses pengurdian dilakukan di mesin CNC Milling dengan material yang terdiri dari dua buah Komposit KFRP yang ditumpuk bersamaan, Sehingga tebal dari komposit yang ditumpuk adalah sebesar 6 mm.

Proses penggurdian Komposit KFRP dilakukan dalam kondisi pemesinan kering tanpa menggunakan cairan pendingin. Proses penggurdian Komposit KFRP dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses Penggurdian Komposit KFRP

*Drill resharpening grinder* digunakan untuk membentuk sudut ujung pahat sesuai dengan level variabel bebas yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu  $100^\circ$ ,  $118^\circ$ , dan  $140^\circ$ . Proses pembentukan sudut ujung pahat ini menggunakan *drill resharpening grinder* merk Vertex seperti yang ditunjukkan Gambar 3.



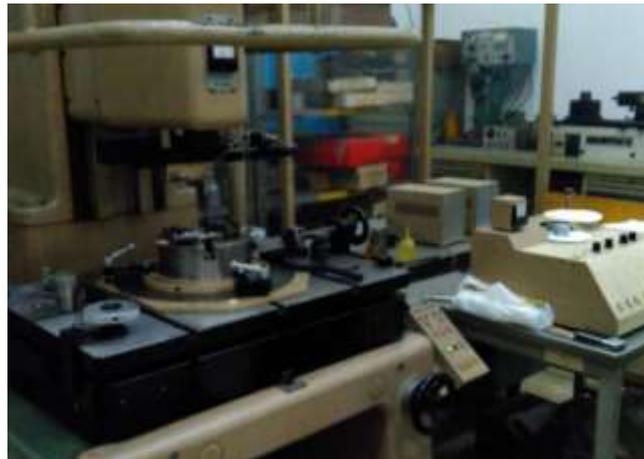
Gambar 3. *Drill resharpening grinder*

Kebulatan lubang hasil penggurdian diukur dengan menggunakan *Roundtest Roncorder EC-3D*. Adapun langkah-langkah untuk mengukur kebulatan ialah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan spesimen uji.
- b. Meletakkan spesimen uji pada *Roundtest*.

- c. Melakukan setting Roundtest dan benda kerja.
- d. Mengaktifkan Roundtest untuk melakukan proses pengukuran kebulatan lubang hasil penggurdian.
- e. Hasil kebulatan dapat dilihat pada gambar profil kebulatan dan kemudian diukur dengan mal kebulatan.

*Roundtest Roncorder EC-3D* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. *Roundtest Roncorder EC-3D*

Variabel bebas yang diberlakukan pada penelitian ini adalah sudut ujung pahat (*point angle*) dan kecepatan makan (*feeding speed*). Masing-masing variabel bebas memiliki tiga level seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan percobaan *full factorial*  $L_9$

No	Variabel Bebas		Variabel Terikat		
	PA (°)	V <sub>f</sub> (mm/menit)	Kebulatan (μm)		
			1	2	Average
1	100°	50			
2	100°	115			
3	100°	180			
4	118°	50			
5	118°	115			
6	118°	180			
7	140°	50			
8	140°	115			
9	140°	180			

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

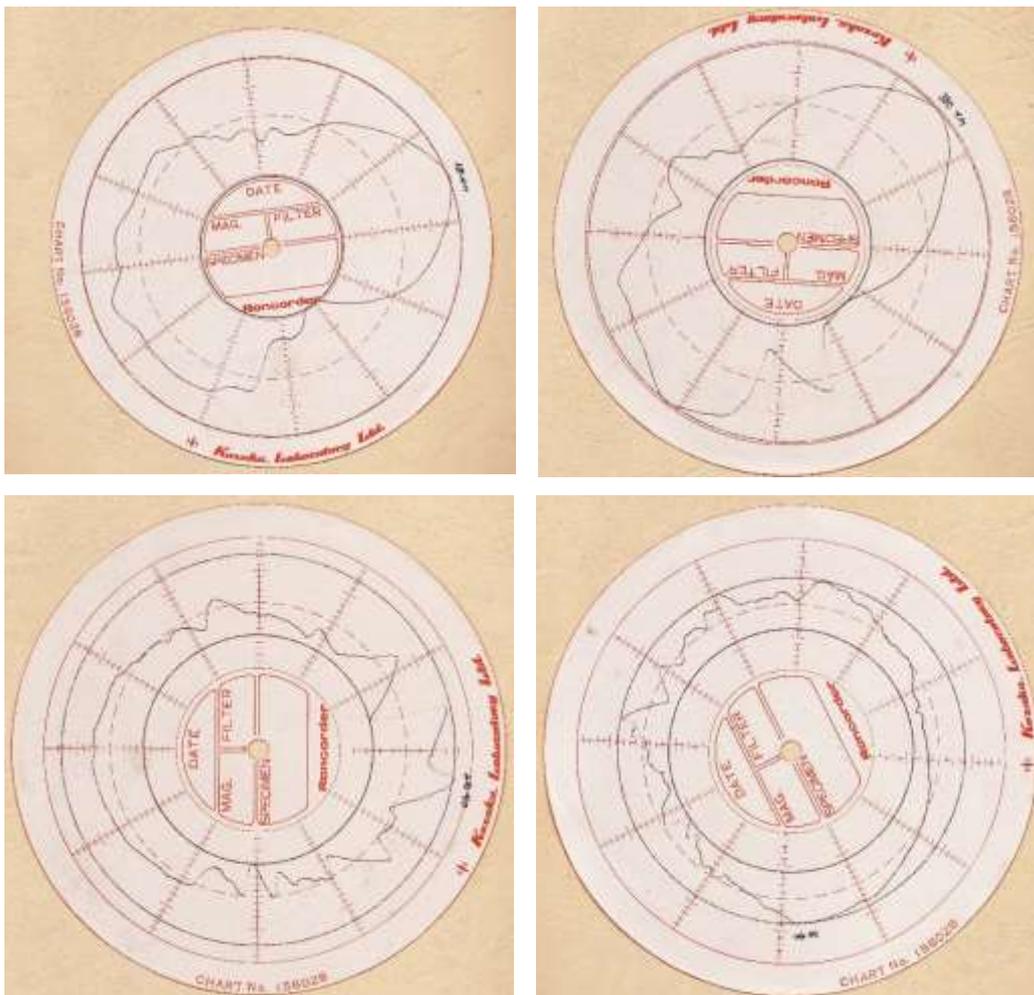
Pengukuran kebulatan dilakukan dengan menggunakan roncorder Kosaka EC-3D. Hasil pengukuran berupa gambar profil kebulatan dan diukur dengan mal kebulatan untuk mendapatkan nilai ketidakbulatan lubang. Pengukuran dilakukan

pada kedua sheet benda kerja dan kemudian dirata-ratakan. Hasil penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 3. Hasil Penelitian Kebulatan

No	Variabel Bebas		Variabel Terikat		
	PA (°)	V <sub>f</sub> (mm/menit)	Kebulatan (µm)		
			1	2	Average
1	100°	50	170	190	180
2	100°	115	220	220	220
3	100°	180	260	260	260
4	118°	50	250	230	240
5	118°	115	290	310	300
6	118°	180	400	400	400
7	140°	50	260	300	280
8	140°	115	390	370	380
9	140°	180	400	400	400

Pengukuran profil kebulatan dengan mal kebulatan ditunjukkan seperti Gambar 5.



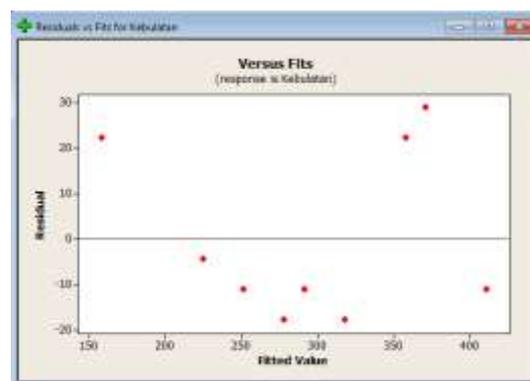
Gambar 5. Pengukuran kebulatan pada spesimen uji

## Analisis Variabel bebas terhadap kebulatan

Untuk mengetahui apakah sudut ujung pahat dan kecepatan makan mempunyai pengaruh terhadap nilai kebulatan pada penggurdian material Komposit KFRP dilakukan *Analysis of variance* (ANOVA). ANOVA mensyaratkan bahwa *residual* harus memenuhi tiga asumsi, yaitu bersifat identik, independen dan berdistribusi normal.

## Uji Identik

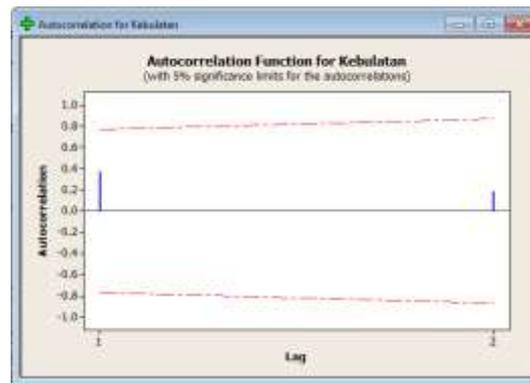
Uji identik terpenuhi bila *residual* tersebar secara acak disekitar harga nol dan tidak membentuk pola tertentu. Hasil uji identik disajikan pada Gambar 6. Uji identik pada Gambar 6 menampilkan *residual* tersebar secara acak disekitar harga nol dan tidak membentuk pola tertentu. Hal ini menunjukkan asumsi identik terpenuhi.



Gambar 6. Uji identik respon kebulatan

## Uji Independen

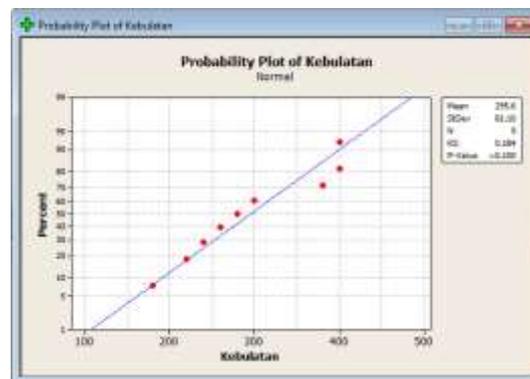
Pengujian independen pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *auto correlation function* (ACF). Berdasarkan plot ACF yang ditunjukkan pada Gambar 7. Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa tidak ada nilai ACF pada tiap lag yang keluar dari batas interval. Hal ini membuktikan bahwa tidak ada korelasi antar *residual* yang berarti *residual* bersifat independen.



Gambar 7. Uji independen respon kebulatan

### Uji Kenormalan

Uji kenormalan atau uji distribusi normal dilakukan dengan menggunakan uji *kolmogorov-smirnov*. Data penelitian dinyatakan berdistribusi normal jika *p-value* lebih besar dari taraf signifikan  $\alpha=0,05$ . Uji kenormalan dapat dilihat seperti Gambar 8. Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa *p-value* untuk respon kebulatan sebesar  $>0.150$ , nilai ini lebih besar dari taraf signifikan  $\alpha=0,05$ , Hal ini berarti data respon kebulatan dapat dinyatakan berdistribusi normal.



Gambar 8. Uji Kenormalan respon kebulatan

### Analysis of Variance (ANOVA)

Setelah uji identik, independen dan distribusi normal terpenuhi, maka dapat dilakukan *analysis of variance* untuk mengetahui variabel bebas mana yang memiliki pengaruh secara signifikan terhadap respon kebulatan. ANOVA untuk respon kebulatan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. ANOVA variabel bebas terhadap kebulatan

Source	DF	Seq SS	Adj MS	F	P	Ss'	% kontribusi
PA	2	28089	14044	19.75	0.008	26667	50.68
Vf	2	21689	10844	15.25	0.013	20267	38.51
Error	4	2844	711				10.81
Total	8	52622					100.00

$$S = 26.6667 \quad R\text{-Sq} = 94,59\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 89,19\%$$

Berdasarkan ANOVA dapat dijabarkan pengaruh variabel bebas terhadap respon kebulatan sebagai berikut:

Hipotesis nol dan hipotesis alternatif yang digunakan pada uji hipotesis untuk variabel bebas sudut ujung pahat dengan menggunakan distribusi F adalah sebagai berikut:

$$H_0 : PA_1 = PA_2$$

$$H_1 : PA_1 \neq PA_2$$

Kesimpulan:  $F_{hitung} = 19,74 > F_{(0,05;2;16)} = 3,63$  maka  $H_0$  ditolak, artinya ada pengaruh yang signifikan variabel bebas sudut ujung pahat terhadap variabel respon kebulatan. *P-value* menunjukkan angka sebesar  $0,008 < 0,05$ , sehingga ini juga mengkonfirmasi bahwa variabel bebas sudut ujung pahat berpengaruh signifikan terhadap variabel respon kebulatan dengan tingkat keyakinan sebesar 95%.

Sedangkan Hipotesis nol dan hipotesis alternatif yang digunakan pada uji hipotesis untuk variabel bebas kecepatan makan dengan menggunakan distribusi F adalah sebagai berikut:

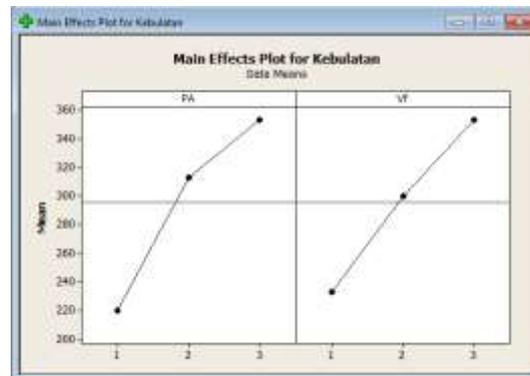
$$H_0 : V_{f1} = V_{f2}$$

$$H_1 : V_{f1} \neq V_{f2}$$

Kesimpulan:  $F_{hitung} = 15,25 > F_{(0,05;2;16)} = 3,63$  maka  $H_0$  ditolak, artinya ada pengaruh yang signifikan variabel bebas kecepatan makan terhadap variabel respon kebulatan. *P-value* menunjukkan angka sebesar  $0,013 < 0,05$ , sehingga ini juga mengkonfirmasi bahwa variabel bebas kecepatan makan berpengaruh signifikan terhadap variabel respon kebulatan dengan tingkat keyakinan sebesar 95%.

Berdasarkan Tabel 4, semua variabel bebas baik sudut ujung pahat maupun kecepatan makan secara statistik mempunyai pengaruh signifikan terhadap variabel respon kebulatan. Kontribusi terbesar terhadap variabel respon kebulatan diberikan oleh sudut ujung pahat, yaitu sebesar 50,68%, diikuti oleh kecepatan makan yaitu

sebesar 38,51%. Untuk mengetahui pengaruh tiap level dari variabel bebas terhadap variabel respon dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. *Main effects plot* variabel bebas terhadap respon kebulatan

Berdasarkan Gambar 9 dapat diketahui bahwa peningkatan sudut ujung pahat akan meningkatkan penyimpangan kebulatan, begitu pula peningkatan kecepatan makan akan meningkatkan penyimpangan kebulatan.

## Pembahasan

Berdasarkan data penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin besar sudut ujung pahat maka penyimpangan kebulatan juga semakin meningkat. Begitu pula jika kecepatan makan semakin meningkat, maka penyimpangan kebulatan juga semakin meningkat pula. Peningkatan penyimpangan kebulatan ini disebabkan karena adanya gaya tekan yang terjadi pada saat awal proses penggurdian. Sebagaimana yang kita ketahui bahwa gaya potong di ujung pahat bernilai nol karena geometri pada ujung pahat adalah tumpul. Sehingga jika semakin besar sudut ujung pahat maka area pahat yang tumpul juga semakin luas yang mengakibatkan gaya tekan yang terjadi juga semakin besar. Hal ini dikuatkan dengan penelitian yang dilakukan muslimin pada tahun 2018 tentang proses penggurdian juga yang hasilnya dapat disimpulkan bahwa peningkatan sudut ujung pahat dan kecepatan makan akan meningkatkan gaya tekan pada ujung pahat [9].

Hal serupa juga diungkapkan oleh Rochim (1993) yang menyatakan bahwa peningkatan gaya tekan dan gaya ekstrusi pada ujung pahat akan meningkatkan penyimpangan kebulatan [10]. Dari uraian di atas dapat kita ketahui bahwa

peningkatan sudut ujung pahat dan kecepatan makan akan meningkatkan besarnya gaya tekan sehingga penyimpangan kebulatan akan meningkat. Dengan demikian, untuk menurunkan penyimpangan kebulatan, maka perlu dilakukan penurunan sudut ujung pahat serta penurunan kecepatan makan.

#### 4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data dapat disimpulkan bahwa:

- a. Ada pengaruh variabel bebas sudut ujung pahat dan kecepatan makan terhadap respon kebulatan.
- b. Kontribusi variabel-variabel bebas penggurdian dalam mengurangi variasi variabel respon kebulatan adalah sudut ujung pahat sebesar 50,68% kemudian kecepatan makan sebesar 38,51%.
- c. Peningkatan sudut ujung pahat dan kecepatan makan akan meningkatkan penyimpangan kebulatan, sehingga agar diperoleh profil kebulatan yang baik, maka perlu menggunakan sudut ujung pahat yang kecil serta kecepatan makan yang rendah.

#### 5. SARAN

Adapun saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian adalah agar mencoba menggunakan level faktor yang lain, dan menambahkan faktor-faktor penting yang lain untuk mengurangi besarnya error. Pada penelitian ini kontribusi error masih sebesar 10,81%.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Kalpakjian and S. R. Schmid, "Manufacturing engineering and technology," *Manuf. Eng. Technol.*, 2014, [Online]. Available: [http://scholar.google.com/scholar?q=Manufacturing engineering and technology&btnG=&hl=en&num=20&as\\_sdt=0%2C22 VN - readcube.com](http://scholar.google.com/scholar?q=Manufacturing+engineering+and+technology&btnG=&hl=en&num=20&as_sdt=0%2C22+VN+-+readcube.com).
- [2] A. Mufarrih, "Pengaruh Parameter Proses Gurdi Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Material KFRP Komposit," *Semin. Nas. Inov. Teknol.*, pp. 403–410, 2017.
- [3] L. Zheng, H. Zhou, C. Gao, and J. Yuan, "Hole drilling in ceramics/Kevlar fiber reinforced plastics double-plate composite armor using diamond core drill," *Mater. Des.*, vol. 40, pp. 461–466, 2012, doi: 10.1016/j.matdes.2012.04.011.

- 
- [4] B. O. P. Soepangkat, B. Pramujati, M. K. Effendi, R. Norcahyo, and A. M. Mufarrih, "Multi-objective Optimization in Drilling Kevlar Fiber Reinforced Polymer Using Grey Fuzzy Analysis and Backpropagation Neural Network–Genetic Algorithm (BPNN–GA) Approaches," *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, 2019, doi: 10.1007/s12541-019-00017-z.
- [5] S. N. Fayzimatov, "Optimization Conditions Of Drilling Polymeric Composite Materials," *Am. J. Eng. Technol.*, vol. 03, no. 02, pp. 22–30, 2021.
- [6] A. Díaz-Álvarez, J. Díaz-Álvarez, C. Santiuste, and M. H. Miguélez, "Experimental and numerical analysis of the influence of drill point angle when drilling biocomposites," *Compos. Struct.*, vol. 209, pp. 700–709, Feb. 2019, doi: 10.1016/J.COMPSTRUCT.2018.11.018.
- [7] M. Altin Karataş, A. R. Motorcu, and H. Gökkaya, "Optimization of machining parameters for kerf angle and roundness error in abrasive water jet drilling of CFRP composites with different fiber orientation angles," *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 42, no. 4, p. 173, 2020, doi: 10.1007/s40430-020-2261-2.
- [8] M. A. J. Bosco, K. Palanikumar, and B. Durga Prasad, "Assessment and Analysis of Roundness Error in Drilling GFRP- Armour Steel Sandwich Composites," *Mater. Today Proc.*, vol. 16, pp. 999–1005, Jan. 2019, doi: 10.1016/J.MATPR.2019.05.188.
- [9] M. M. Ilham and A. Mufarrih, "Analisa Gaya Tekan dan Delaminasi pada Penggurdian KFRP Komposit," *J. Tek. Mesin Untirta*, vol. IV, no. 2, pp. 33–38, 2018.
- [10] T. Rochim, *Spesifikasi Metrologi dan Kontrol Kualitas Geometrik*. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2001.