

PERANCANGAN KOMBINASI PARAMETER PEMESINAN MILLING TERHADAP NILAI DISTORSI DAN *TWISTING* YANG OPTIMAL PADA *THIN WALL COMPONENT* DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI

DESIGN OF MILLING MACHINE PARAMETERS COMBINATION FOR OPTIMUM DISTORTION AND TWISTING VALUE ON THIN WALL COMPONENT USING THE TAGUCHI METHOD

Aquilla Yunma Imaristha¹, Rino Andias Anugraha², Erna Febriyanti³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

aquillayunma@student.telkomuniversity.ac.id¹, rinoandias@telkomuniversity.ac.id², efebriyanti@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Distorsi pada benda kerja merupakan salah satu permasalahan yang umumnya terjadi dalam proses produksi atau proses pemesinan. Material yang terbuang pada saat proses pemesinan dapat mencapai 90% dan menyebabkan terjadinya distorsi dan *twisting* yang disebabkan oleh *cutting force*, suhu, dan *clamping force*. Dengan banyaknya material yang terbuang, sehingga biaya pemesinan cukup besar, maka perusahaan akan mengalami kerugian apabila benda mengalami *defect* karena distorsi dan *twisting*. Dalam studi ini, akan dilakukan optimasi parameter pemesinan yang dapat mempengaruhi distorsi dan *twisting* (*spindle speed* (*s*), *feedrate* (*f*), dan *depth of cut* (*d*)) pada benda kerja yang kemudian dianalisis dengan melakukan eksperimen pemesinan menggunakan Metode Taguchi dan uji ANOVA untuk meminimasi terjadinya distorsi dan *twisting*. Material yang digunakan adalah aluminium alloy 6061 dan hasil perancangan *orthogonal array* didapatkan notasi $L_9(3^3)$. Berdasarkan notasi yang didapatkan, maka jumlah eksperimen yang akan dilakukan pada studi ini yaitu sebanyak 9 kali percobaan dengan tiga parameter pemesinan dan tiga level. Distorsi minimum terjadi pada eksperimen T4 sebesar 0,039 mm dengan parameter $s = 1600$ rpm, $f = 200$ mm/min, $d = 1,0$ mm. Sedangkan *twisting* minimum terjadi pada eksperimen T7 sebesar 0,168 mm dengan parameter $s = 1700$ rpm, $f = 200$ mm/min, $d = 1,5$ mm. Parameter yang paling berpengaruh pada nilai distorsi adalah *spindle speed*, sedangkan untuk nilai *twisting* parameter yang paling berpengaruh adalah *depth of cut*.

Kata kunci : *Thin Wall Component*, Distorsi, *Twisting*, Metode Taguchi

Abstract

Distortion on the workpiece is one of the problems that generally occurs in the production process or machining process. The material that has wasted during the process of machining can reach 90% and cause distortion and twisting which is caused by cutting force, temperature, and clamping force. Because of many wasted materials, the machining costs are quite large and the company will suffer losses if the workpiece has defects due to distortion and twisting. This study will be doing machining parameters optimization that can affect distortion and twisting (spindle speed (s), feedrate (f), dan depth of cut (d)) on the workpiece which will be analyzed by conducting machining experiments using Taguchi Method and ANOVA testing to minimize distortion and twisting. The material used is aluminum alloy 6061 and the results of the orthogonal array design are $L_9(3^3)$. Based on the notation obtained, the number of experiments to be carried out in this study is 9 times with three machining parameters and three levels. The minimum distortion occurred in the T4 experiment of 0,039 mm with parameters $s = 1600$ rpm, $f = 200$ mm/min, $d = 1,0$ mm. While the minimum twisting occurred in the T7 experiment of 0,168 mm with parameters $s = 1700$ rpm, $f = 200$ mm/min, $d = 1,5$ mm. The most influential parameter on the distortion value is the spindle speed, while for the twisting value the most influential parameter is the depth of cut.

Keywords : *Thin Wall Component*, Distortion, *Twisting*, Taguchi Method

I. Pendahuluan

Pada industri manufaktur terdapat banyaknya proses produksi yang menggunakan pemesinan sebagai salah satu prosesnya. Distorsi dan *twisting* merupakan permasalahan yang umumnya terjadi dalam proses produksi atau proses pemesinan. Distorsi merupakan perubahan bentuk pada benda kerja yang diakibatkan oleh panas dan umumnya terjadi pada proses pemesinan. Permasalahan ini terjadi dikarenakan pada saat proses pemesinan, penentuan parameter pemesinan dapat mempengaruhi terjadinya distorsi dan *twisting* karena dapat meningkatkan *cutting force* [1].

Twisting pada benda kerja merupakan hasil yang disebabkan karena terjadi distorsi. Material yang terbuang pada saat proses pemesinan dapat mencapai 90% dan menyebabkan terjadinya distorsi yang disebabkan oleh *cutting force*, suhu, dan *clamping force* [2]. Material yang memiliki nilai kekakuan struktur yang rendah seperti *thin wall component* dan *thin floor component*, maka besar kemungkinan terjadinya distorsi dan *twisting*.

Thin wall component merupakan komponen yang sering digunakan pada industri penerbangan dan otomotif. *Thin wall component* memiliki area atau bagian yang ber dinding tipis dengan tingkat kekakuan struktur yang rendah. *Thin wall component* memiliki beberapa kelebihan, yaitu memiliki berat yang lebih ringan dan kekuatan yang tinggi dalam menahan beban. Masalah dan tantangan terbesar dalam pemesinan *thin wall component* adalah distorsi selama proses pemesinan [3].



Gambar 1 *Thin Wall Component*
(Sumber: <https://www.aircraft-philipp.com>)

Distorsi yang terjadi pada *thin wall component* selama proses pemesinan disebabkan oleh efek kumulatif dari beberapa variabel, seperti *clamping*, geometri pahat, dan parameter pemesinan. Variabel ini dapat mempengaruhi tegangan sisa yang dihasilkan pada material selama proses pemesinan *thin wall component* [4]. Pada proses pemesinan *thin wall component*, menentukan *clamping system* sangat berpengaruh terhadap *part* yang dihasilkan, apabila kurang tepat dalam menentukan *clamping system*, maka akan terjadi getaran dan mengakibatkan kesalahan dimensi, bentuk, dan *surface roughness* [5]. Distorsi dan *twisting* yang terjadi pada *thin wall component* adanya pengaruh yang signifikan dari parameter pemesinan, terutama pada *depth of cut* dan *width of cut* yang dapat dikaitkan dengan peningkatan *cutting force* dan suhu [1].

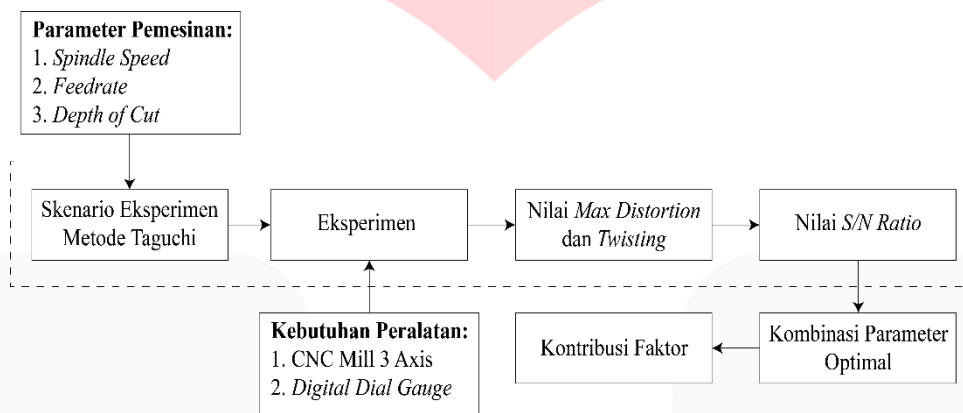
Metode Taguchi adalah metode yang memiliki tujuan memperbaiki kualitas produk, proses, dan minimasi biaya. Lebih tepatnya Metode Taguchi dilakukan untuk optimasi. Keuntungan menggunakan Metode Taguchi dibandingkan dengan metode lain adalah bahwa banyak faktor yang dapat dioptimalkan secara bersamaan dan lebih banyak informasi kuantitatif yang didapatkan dari percobaan eksperimen yang lebih sedikit [6]. Kelemahan dari Metode Taguchi apabila jumlah faktornya banyak, maka hasilnya kurang akurat.

Berdasarkan hal tersebut, optimasi parameter pemesinan yang dapat mempengaruhi distorsi dan *twisting* pada benda kerja seperti *spindle speed*, *feedrate*, dan *depth of cut* akan dianalisis dengan melakukan eksperimen pemesinan menggunakan Metode Taguchi dan uji ANOVA terhadap nilai distorsi dan *twisting*. *Orthogonal array* pada Metode Taguchi untuk menentukan jumlah minimal eksperimen yang akan dilakukan. Pemilihan kombinasi level dan variabel input untuk tiap eksperimen merupakan bagian terpenting dari *orthogonal array*.

II. Eksperimen

II.1 Prosedur Eksperimen

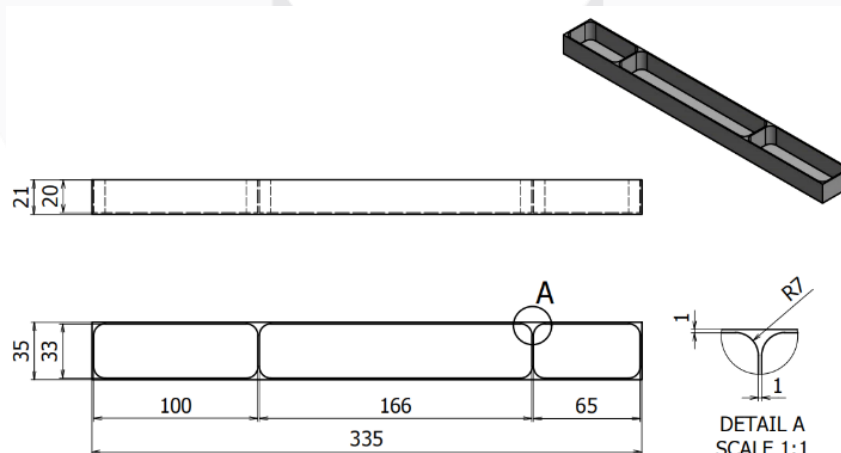
Pada parameter pemesinan terdapat variabel *input* pada proses eksperimen yang akan dilakukan, yaitu *spindle speed*, *feedrate*, dan *depth of cut*. Eksperimen akan dilakukan menggunakan mesin HAAS CNC Mill 3 axis dengan alat ukur *digital dial gauge*. HAAS CNC Mill 3 axis digunakan untuk pemotongan material aluminium alloy 6061 menjadi *thin wall component*. Setiap proses pemesinan yang dilakukan menggunakan parameter pemesinan yang berbeda berdasarkan kombinasi antara parameter dan masing-masing *level*. Selanjutnya, *part* yang sudah selesai proses pemesinan akan diukur dengan menggunakan alat *digital dial gauge* yang digerakan dengan CNC Router. Kemudian nilai distorsi dan *twisting* yang didapatkan akan dilakukan proses perhitungan *S/N Ratio* untuk mengetahui kombinasi parameter pemesinan yang menghasilkan nilai distorsi dan *twisting* yang paling minimum. Setelah perhitungan *S/N Ratio*, dilanjut dengan uji ANOVA untuk mengetahui kontribusi pada setiap parameter terhadap nilai distorsi dan *twisting* yang minimum.



Gambar 2 Prosedur Eksperimen

II.2 Material Benda Kerja

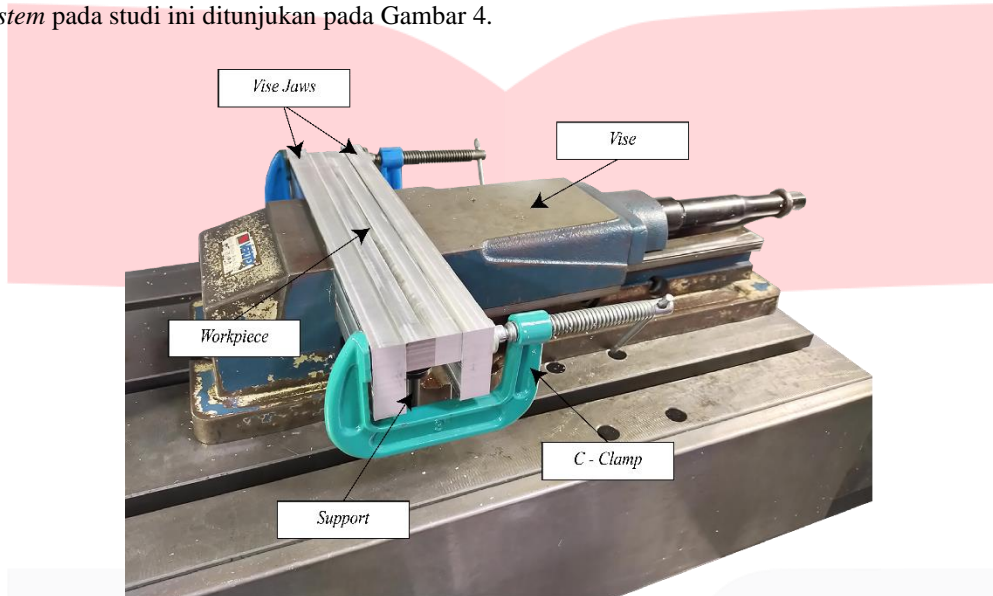
Material benda kerja yang sering digunakan dalam industri penerbangan dan otomotif adalah aluminium alloy dan titanium alloy. Pada studi ini menggunakan material aluminium alloy 6061. Material aluminium alloy 6061 akan disamakan terlebih dahulu ukurannya sebelum dilakukan proses pemesinan dengan dimensi 335 mm × 35 mm × 21 mm yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Dimensi *Thin Wall Component*

II. 3 Eksperimen Set-Up

Mesin yang digunakan dalam eksperimen proses pemesinan ini adalah HAAS CNC Mill VF-2. Nachi *End Mill Cutting Tool* dengan diameter 12 mm dan 4 *flute* merupakan alat potong yang digunakan dalam eksperimen yang akan dilakukan. Material yang sudah disesuaikan dimensinya akan dipasang pada alat *clamping*. Pada studi ini, *clamping* yang digunakan adalah *vice*. *Clamping system* pada studi ini ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Clamping System

Pada studi ini terdapat tiga faktor parameter pemesinan, yaitu *spindle speed*, *feedrate*, dan *depth of cut* dengan masing-masing parameter terdapat tiga level seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Desain eksperimen pada studi ini menggunakan Taguchi *Orthogonal Array* dengan notasi $L_9(3^3)$. Berdasarkan notasi yang didapatkan, maka jumlah eksperimen yang akan dilakukan pada studi ini yaitu sebanyak 9 kali percobaan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

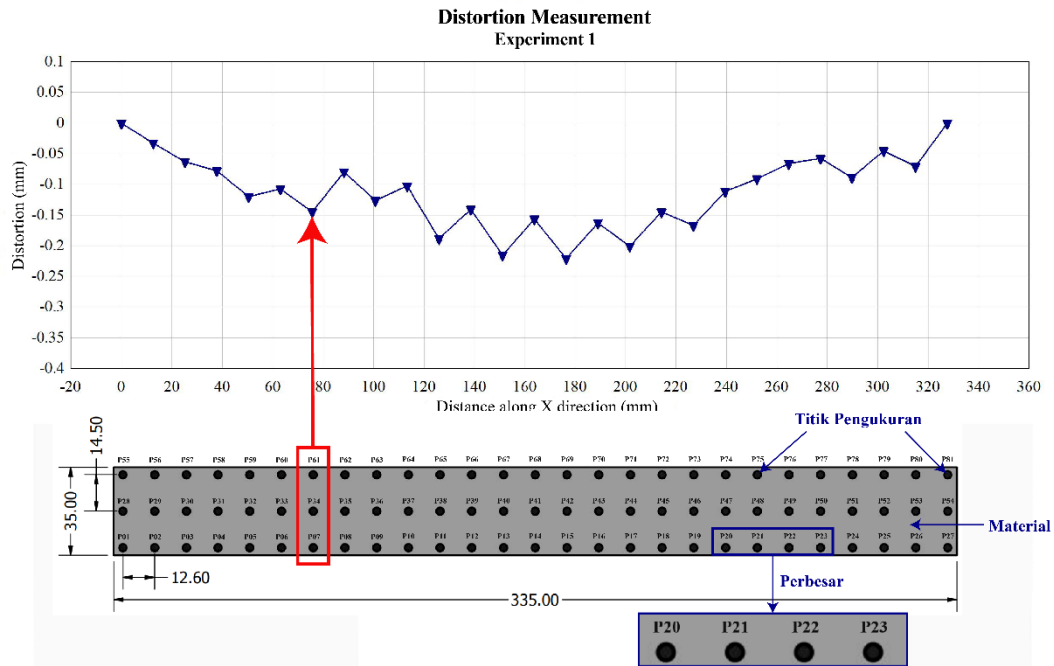
Tabel 1 Faktor dan Level

Faktor	Satuan	Level		
		1	2	3
<i>Spindle Speed</i>	rpm	1500	1600	1700
<i>Feedrate</i>	mm/min	200	400	600
<i>Depth of Cut</i>	mm	0,5	1,0	1,5

Tabel 2 Kombinasi Parameter Berdasarkan Taguchi *Orthogonal Array* $L_9(3^3)$

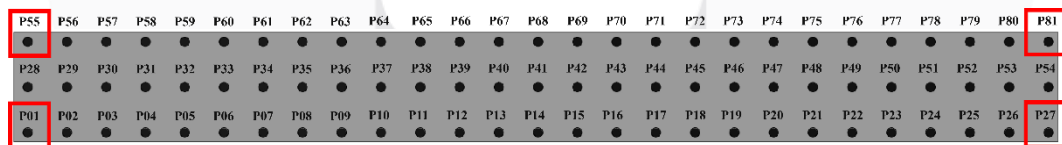
Ekperimen	<i>Spindle Speed</i> (rpm)	<i>Feedrate</i> (mm/min)	<i>Depth of Cut</i> (mm)
T1	1500	200	0,5
T2	1500	400	1,0
T3	1500	600	1,5
T4	1600	200	1,0
T5	1600	400	1,5
T6	1600	600	0,5
T7	1700	200	1,5
T8	1700	400	0,5
T9	1700	600	1,0

Pengambilan data distorsi dan *twisting* menggunakan alat *digital dial gauge* dengan tingkat ketelitian 0,001 mm atau 1 *micron*. Alat *digital dial gauge* digerakan dengan menggunakan CNC Router untuk menuju titik pengukuran. Dalam studi ini, dilakukan pengukuran distorsi dan *twisting* dengan menggunakan 81 titik pengukuran yang terbagi dalam tiga garis horizontal dengan jarak antar barisnya sebesar 14,5 mm. Pada setiap garis terdiri dari 27 titik pengukuran dengan jarak antar titiknya sebesar 12,6 mm. Selanjutnya, data selisih sebelum pemesinan dan sesudah pemesinan yang diperoleh akan diambil rata-ratanya secara vertikal seperti pada Gambar 5. Dalam studi yang dilakukan oleh Moulai-khatir dkk. [7] mengatakan bahwa jumlah titik pengukuran untuk mengukur kerataan suatu permukaan benda kerja yang optimal adalah 81 titik pengukuran.



Gambar 5 Titik Pengukuran Distorsi

Hasil nilai *twisting* didapatkan dengan melakukan pengukuran yang sama dengan pengukuran distorsi. Selisih nilai yang diambil untuk analisis *twisting* terletak pada titik di setiap ujung sudut atau pada point 1, 27, 55, dan 81 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

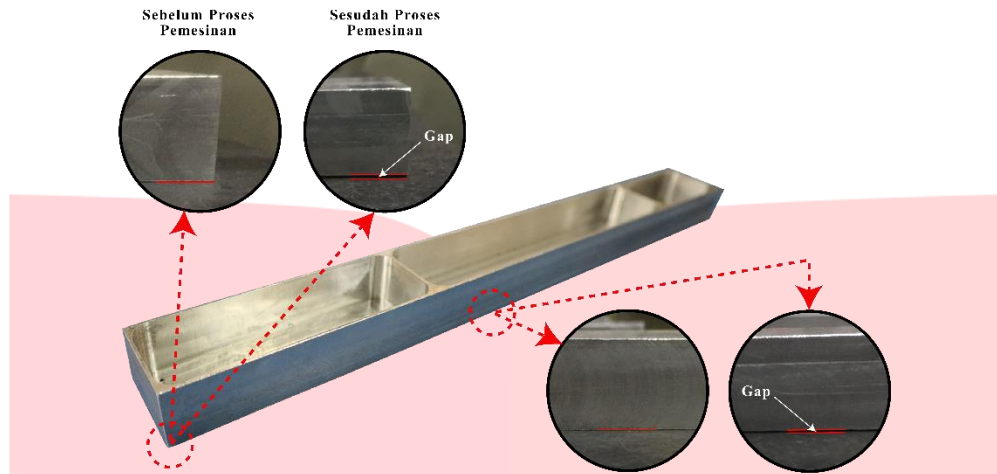


Gambar 6 Titik Pengukuran *Twisting*

III. Hasil dan Pembahasan

III. 1 Hasil Eksperimen

Pada hasil eksperimen menunjukkan adanya gap dari sebelum proses pemesinan dan sesudah pemesinan yang mengindikasikan bahwa telah terjadi distorsi dan *twisting* pada benda kerja seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Gap antara Benda Kerja dengan Permukaan Rata

Pengambilan data distorsi dan *twisting* menggunakan alat *digital dial gauge* didapatkan hasil nilai distorsi minimum sebesar 0,039 mm pada eksperimen T4 dan nilai *twisting* minimum sebesar 0,168 mm pada eksperimen T7 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Eksperimen

Eksperimen	Spindle S. (rpm)	Feedrate (mm/min)	Depth of Cut (mm)	Max. Dist (mm)	Max. Twist (mm)
T1	1500	200	1500	0,221	0,684
T2	1500	400	1500	0,109	0,900
T3	1500	600	1500	0,121	0,257
T4	1600	200	1600	0,039	0,498
T5	1600	400	1600	0,167	0,417
T6	1600	600	1600	0,148	0,496
T7	1700	200	1700	0,255	0,168
T8	1700	400	1700	0,297	0,506
T9	1700	600	1700	0,237	0,848

III. 2 Analisis Nilai S/N Ratio dan Setiap Level

Perhitungan *S/N Ratio* pada studi ini menggunakan kategori *smaller is better* dikarenakan data respon yang dihasilkan berupa nilai distorsi dan *twisting*, dimana semakin kecil nilai yang dihasilkan maka kualitas produk semakin baik. Perhitungan *S/N Ratio* dilakukan untuk mengetahui parameter *level* yang memiliki pengaruh terhadap data respon yang paling signifikan. Hasil *perhitungan S/N Ratio* pada setiap eksperimen dapat dilihat pada Tabel 4. Perhitungan *S/N Ratio smaller is better* dapat dilihat pada persamaan 1.

$$S/N Ratio = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \tag{1}$$

Tabel 4 *S/N Ratio* per Eksperimen

Eksperimen	S/N Ratio	
	Distorsi Maksimal	Twisting Maksimal
T1	13,110	3,299
T2	19,264	0,915
T3	18,348	11,801

T4	28,291	6,055
T5	15,563	7,597
T6	16,590	6,090
T7	11,858	15,494
T8	10,540	5,917
T9	12,497	1,432

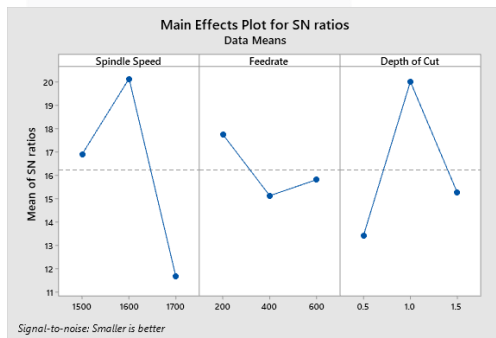
Pada perhitungan *S/N Ratio* untuk *setiap level* dilakukan untuk mendapatkan *level* yang optimal untuk masing-masing parameter. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab. Perhitungan *S/N Ratio* untuk *setiap level* terhadap nilai distorsi ditunjukkan pada Tabel 5 dan nilai *twisting* ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 5 *S/N Ratio* Terhadap Nilai Distorsi

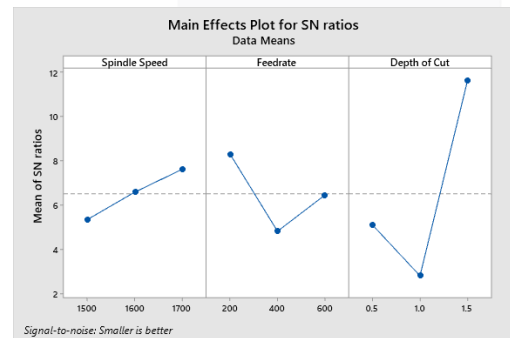
<i>Level / Faktor</i>	<i>Spindle Speed</i>	<i>Feedrate</i>	<i>Depth of Cut</i>
1	16,91	17,75	13,41
2	20,15	15,12	20,02
3	11,63	15,81	15,26
Delta	8,52	2,63	6,60
Rank	1	3	2

Tabel 6 *S/N Ratio* Terhadap Nilai Distorsi

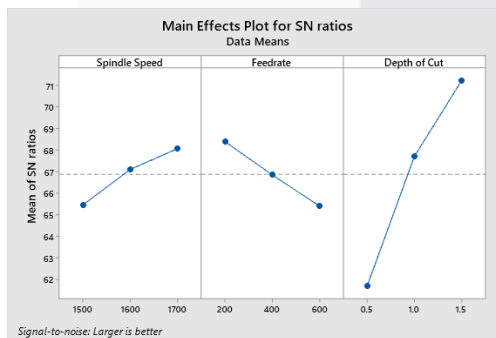
<i>Level / Faktor</i>	<i>Spindle Speed</i>	<i>Feedrate</i>	<i>Depth of Cut</i>
1	5,338	8,283	5,102
2	6,581	4,810	2,801
3	7,614	6,441	11,631
Delta	2,276	3,473	8,830
Rank	3	2	1



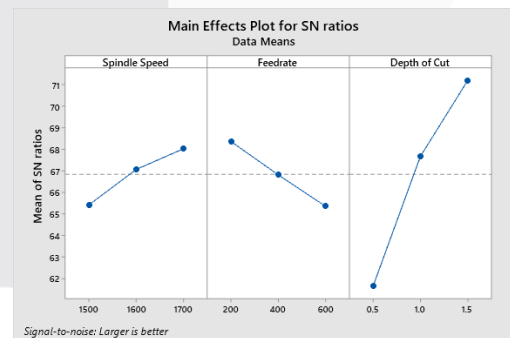
Gambar 8 Grafik *S/N Ratio* Distorsi



Gambar 9 Grafik *S/N Ratio* Twisting



Gambar 10 Grafik *S/N Ratio* Fx_Max



Gambar 11 Grafik *S/N Ratio* Fy_Max

Pada Tabel 5 menunjukkan bahwa parameter *spindle speed* memberikan pengaruh paling besar terhadap nilai distorsi. Pada Tabel 6 menunjukkan bahwa parameter *depth of cut* memberikan pengaruh paling besar terhadap nilai *twisting*. Penentuan *level* optimum yang terpilih dengan melihat grafik *main effects plot* nilai *S/N Ratio* terbesar dari masing-masing parameter. Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa kombinasi parameter dan *level* yang optimal untuk respon nilai distorsi yaitu $s= 1600$ rpm, $f= 200$ mm/min, dan $d= 1,0$ mm. Sedangkan pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa kombinasi parameter dan *level* yang optimal untuk respon nilai *twisting* yaitu $s= 1700$ rpm, $f= 200$ mm/min, $d= 1,5$ mm.

Pada perhitungan *S/N Ratio cutting force* menggunakan *large is better* dikarenakan data hasil pengukuran *twisting* menunjukkan bahwa semakin besar nilai *cutting force* maka hasil semakin baik. Dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11, bahwa hasil parameter yang optimal sama dengan hasil parameter optimal pada perhitungan *S/N Ratio* nilai *twisting*. Dengan perhitungan ini, menunjukkan bahwa *cutting force* memiliki keterkaitan terhadap hasil nilai *twisting*.

Uji ANOVA dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pada setiap faktor parameter pemesinan dan signifikansinya terhadap nilai distorsi dan *twisting*. Hasil uji ANOVA pada Tabel 7 menunjukkan bahwa parameter pemesinan yang memiliki kontribusi paling besar terhadap nilai distorsi yaitu *spindle speed* dengan kontribusi sebesar 64,72%. Untuk kontribusi terbesar kedua yaitu *depth of cut* dengan kontribusi sebesar 24,60%. Untuk kontribusi terkecil yaitu *feedrate* dengan kontribusi sebesar 1,61%. Hasil uji ANOVA pada Tabel 8 menunjukkan bahwa parameter pemesinan yang memiliki kontribusi paling besar terhadap nilai *twisting* yaitu *depth of cut* dengan kontribusi sebesar 68,97%. Untuk kontribusi terbesar kedua yaitu *feedrate* dengan kontribusi sebesar 7,73%. Untuk kontribusi terkecil yaitu *spindle speed* dengan kontribusi sebesar 6,88%. Pada Tabel 7 dan Tabel 8 menunjukkan bahwa *spindle speed*, *feedrate*, dan *depth of cut* memiliki nilai P-Value lebih besar dari 0,05. Maka dapat disimpulkan bahwa *spindle speed*, *feedrate*, dan *depth of cut* secara statistik tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap distorsi dan *twisting* benda kerja. Parameter pemesinan *spindle speed*, *feedrate*, dan *depth of cut* tidak memiliki pengaruh secara signifikan terhadap nilai deformasi [8].

Tabel 7 Hasil Uji ANOVA Distorsi

Parameter	DF	SS	F-Value	P-Value	Kontribusi
<i>Spindle Speed</i>	2	0,034988	7,14	0,123	64,72%
<i>Feedrate</i>	2	0,000870	0,18	0,849	1,61%
<i>Depth of Cut</i>	2	0,013296	2,71	0,269	24,60%
<i>Error</i>	2	0,004904	DF = Degree of Freedom		
Total	8	0,054057	SS = Sum of Square		

Tabel 8 Hasil Uji ANOVA Twisting

Parameter	DF	SS	F-Value	P-Value	Kontribusi
<i>Spindle Speed</i>	2	0,03322	0,42	0,705	6,88%
<i>Feedrate</i>	2	0,03733	0,47	0,680	7,73%
<i>Depth of Cut</i>	2	0,33302	4,20	0,192	68,97%
<i>Error</i>	2	0,07926	DF = Degree of Freedom		
Total	8	0,48284	SS = Sum of Square		

IV. Kesimpulan

Berikut merupakan kesimpulan yang diambil berdasarkan pengolahan data dan analisis pada studi ini.

1. Parameter pemesinan yang digunakan yaitu *spindle speed*, *feedrate*, dan *depth of cut* tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap hasil distorsi dan *twisting*.

2. Semakin besar parameter *depth of cut* dan nilai *cutting force* maka semakin baik hasil *twisting* yang didapatkan. Untuk nilai distorsi menunjukkan hasil yang lebih baik dengan parameter *depth of cut* menengah.
3. Adanya ketidaksesuaian hasil data eksperimen dengan teori yang ada. Terdapat faktor-faktor yang dapat mempengaruhi seperti *clamping system*, pemilihan pahat, jalur pahat, urutan pemotongan, dan parameter pemesinan yang kurang tepat. Keterbatasan alat ukur juga dapat mempengaruhi ketidaksesuaian data.

REFERENSI

- [1] G. Sridhar and P. Ramesh Babu, "Effect of material removal rate on machining distortion of thin-wall thin-floor components," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 13, pp. 27018–27027, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2018.09.005.
- [2] G. Sridhar and P. Ramesh Babu, "Influence of tool parameters on machining distortion of thin wall thin floor components," *Adv. Mater. Process. Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 61–85, 2018, doi: 10.1080/2374068X.2017.1368002.
- [3] X. LI *et al.*, "Machining deformation of single-sided component based on finishing allowance optimization," *Chinese J. Aeronaut.*, vol. 33, no. 9, pp. 2434–2444, 2020, doi: 10.1016/j.cja.2019.09.015.
- [4] J. guang Li and S. qi Wang, "Distortion caused by residual stresses in machining aeronautical aluminum alloy parts: recent advances," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 89, no. 1–4, pp. 997–1012, 2017, doi: 10.1007/s00170-016-9066-6.
- [5] M. H. Yadav and S. S. Mohite, "Controlling deformations of thin-walled Al 6061-T6 components by adaptive clamping," *Procedia Manuf.*, vol. 20, pp. 509–516, 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.02.076.
- [6] R. Pundir, G. H. V. C. Chary, and M. G. Dastidar, "Application of Taguchi method for optimizing the process parameters for the removal of copper and nickel by growing *Aspergillus sp.*," *Water Resour. Ind.*, vol. 20, pp. 83–92, 2018, doi: 10.1016/j.wri.2016.05.001.
- [7] D. Moulai-khatir, E. Pairel, and H. Favreliere, "In fl uence of the probing de fi nition on the fl atness measurement," vol. 15, pp. 4–10, 2018.
- [8] S. R. Putra, R. A. Anugraha, T. Sjafrizal, F. Teknik, U. Telkom, and M. Taguchi, "OPTIMASI PARAMETER PEMESINAN MILLING UNTUK MEMINIMASI DEFORMASI PADA THIN WALL COMPONENT DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI OPTIMIZATION OF MILLING PARAMETER TO MINIMIZE DEFORMATION OF THIN WALL COMPONENT USING TAGUCHI METHOD," vol. 7, no. 2, pp. 5449–5456, 2020.