

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

Satria Rahmadani Putra¹, Rino Andias Anugraha², Teddy Sjafrizal³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

¹satriarmd@student.telkomuniversity.ac.id, ²rinoandias@telkomuniversity.ac.id,

³teddysjafrizal@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Deformasi benda kerja merupakan permasalahan yang serius pada proses pemesinan dengan tingkat kepresisian yang tinggi. Fenomena ini umumnya terjadi pada benda kerja yang mengadopsi desain dengan tingkat kekakuan struktur yang rendah, seperti pada *thin wall component*. Sebanyak hampir 95% dari volume material *thin wall component* akan terbuang selama proses pemesinan berlangsung. Hal tersebut membuat benda kerja ini memiliki biaya pemesinan yang cukup besar, sehingga perusahaan akan mengalami kerugian apabila benda kerja ini mengalami *defect*. Dalam studi sebelumnya ditunjukkan bahwa parameter pemesinan memberikan pengaruh terhadap terjadinya *defect* deformasi ini. Dalam studi ini Metode Taguchi diterapkan untuk mendapatkan parameter pemesinan yang optimal guna meminimasi deformasi yang terjadi pada benda kerja. Material aluminium alloy dipilih dan diproses pemesinan berdasarkan *orthogonal array* $L_9(3^3)$ dengan tiga parameter (*feedrate* (f), *spindle speed* (s), dan *depth of cut* (d)) dan tiga level. Data deformasi didapatkan dengan mengurangi ketebalan sampel dari kondisi awal di 81 titik pengukuran. Deformasi yang minimum (0,055 mm) diperoleh pada nilai parameter $f=700$ mm/min, $s=1600$ rpm, dan $d=0,5$ mm. Secara statistik, parameter pemesinan ini tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai deformasi. Masing-masing parameter pemesinan memberikan kontribusi terhadap nilai deformasi sebesar 29,33 % untuk *depth of cut*, 28,68 % untuk *spindle speed*, dan 22,85 % untuk *feedrate*.

Kata kunci: *Thin Wall Component*, Deformasi, Metode Taguchi

Abstract

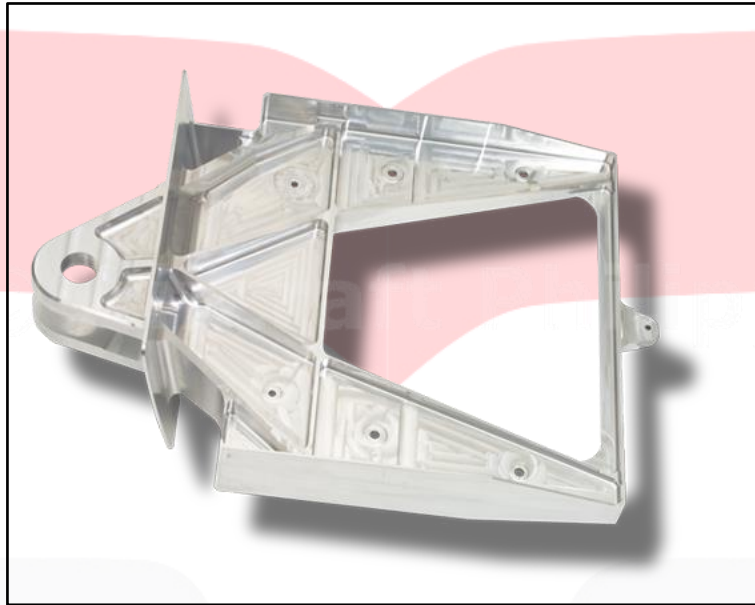
Workpiece deformation during machining is a serious defect for high precision machining. This phenomenon is prevalent to the workpiece at which a low degree of rigidity design is adopted, such as in thin-wall component. As 95% of the thin wall component material volume will be scrapped out during the machining process. It gained highly to the cost of machining the workpiece, the company is prospected to lose even more when defects occur to these workpieces. Previous studies also suggest that machining parameters contribute to the possibility of experiencing this deformation defect. The present study Taguchi method implied exhibits the preferred machining parameters engendering the least deformed workpiece. The aluminium samples were selected and machined according to $L_9(3^3)$ orthogonal array design with three parameters (feed rate (f), spindle speed (s) and depth of cut (d)) and three levels. The deformation data was gathered by subtracting the thickness of the machined samples from the initial condition at 81 sites. Eventually, the minimum deformation (0,055mm) was obtained at $f=700$ mm/min, $s=1600$ rpm, and $d=0,5$ mm. This machining parameter does not have a statistically significant effect on the value of the deformation. Increasing machining parameter contributes 29.33% deformation value for depth of cut, 28.68% for spindle speed, and 22.85% for feed rate.

Keyword: *Thin Wall Component*, Deformation, Taguchi Method

1. PENDAHULUAN

Fenomena terjadinya deformasi benda kerja selama proses pemesinan telah menjadi permasalahan yang serius bagi industri manufaktur, terutama pada industri yang membutuhkan tingkat toleransi dimensi yang tinggi. Hal ini menjadi permasalahan serius karena terjadi ketidaksesuaian geometri benda kerja setelah proses pemesinan yang berakibat pada produk mengalami *reject*. Umumnya deformasi terjadi pada area benda kerja yang memiliki tingkat kekakuan struktur material yang rendah. Deformasi ini dapat dijumpai dalam proses pembuatan *thin wall component* atau komponen berinding tipis.

Thin wall component merupakan jenis komponen struktural yang memiliki banyak bagian ber dinding tipis pada geometri benda kerjanya. *Thin wall component* banyak diterapkan dalam industri otomotif dan penerbangan karena memiliki beberapa keunggulan yang berguna di kedua sektor industri ini, seperti beratnya yang lebih ringan, proses perakitan yang lebih mudah, dan biaya yang dikeluarkan lebih murah [1]. Dalam proses pembuatan *thin wall component*, sebanyak hampir 95% dari volume material akan terbuang selama proses pemesinan berlangsung. Kondisi ini menyebabkan tingkat kekakuan struktur material mengalami penurunan, sehingga berdampak pada terjadinya deformasi *thin wall component*.



Gambar 1 *Thin Wall Component*

(Dicetak Kembali dari: https://www.aircraft-philipp.com/fileadmin/user_upload/produktionsbilder/machining-aluminium-wz/neu/FRe__SEN_ALU_004.png)

Deformasi yang terjadi pada *thin wall component* merupakan salah satu tantangan utama yang dihadapi industri manufaktur, terutama di sektor penerbangan dan otomotif [2]. Deformasi pada *thin wall component* diakibatkan karena efek kumulatif dari beberapa variabel proses, seperti *clamping system*, geometri *tools*, dan parameter pemesinan. Variabel-variabel ini mempengaruhi besarnya *residual stress* yang diinduksikan pada material selama proses pemesinan berlangsung [3]. Minimasi deformasi pada *thin wall component* dapat dilakukan dengan melakukan optimasi pada variabel-variabel yang mempengaruhinya, seperti optimasi pada parameter pemesinan yang digunakan dalam proses pemesinan *thin wall component*. Parameter pemesinan memainkan peranan yang penting selama proses pembuatan *thin wall component*. Kombinasi parameter pemesinan yang kurang tepat dapat mengakibatkan terjadinya *overcut* dan *undercut* pada area yang memiliki tingkat kekakuan struktur material yang rendah. Pemilihan kombinasi parameter proses pemesinan yang tepat dapat menghindari terjadinya ketidaksesuaian geometri benda kerja yang berakibat fatal pada proses *assembly part* [4]. Untuk mencapai tujuan tersebut, pendekatan dengan menggunakan Metode Taguchi diterapkan.

Metode Taguchi dapat secara efektif dalam menentukan kombinasi yang optimal dari parameter proses pemesinan [5]. Keunggulan dari Metode Taguchi ini adalah dapat mempertimbangkan banyak faktor secara bersamaan dengan efisien. Dalam studi yang dilakukan oleh Unadi [6] Metode Taguchi diterapkan dalam mengoptimasi parameter proses pemesinan milling untuk meningkatkan kualitas permukaan benda kerja dan meminimasi konsumsi daya yang dibutuhkan. Studi yang dilakukan oleh Kuram [7] juga menggunakan Metode Taguchi dan ANOVA dalam mengoptimasi parameter pemesinan untuk mengurangi kecacatan *tools* dan *cutting force*.

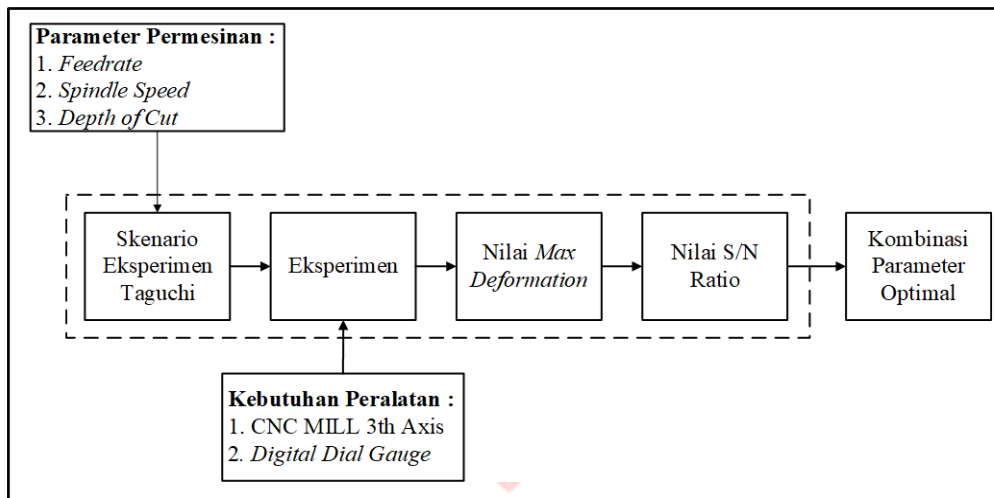
Berdasarkan hal tersebut, parameter pemesinan yang mempengaruhi deformasi benda kerja akan dianalisis dengan melakukan eksperimen pemesinan dengan pendekatan Taguchi (*L9 orthogonal array*) dan uji ANOVA untuk mendapatkan parameter pemesinan yang optimum guna meminimasi deformasi yang terjadi.

2. EKSPERIMEN

2.1 Prosedur Eksperimen

Berdasarkan Gambar 2, tahap awal dalam studi ini adalah merancang skenario eksperimen Taguchi berdasarkan parameter pemesinan milling yang telah ditentukan. Dalam studi ini dibutuhkan beberapa peralatan yang menunjang pelaksanaan eksperimen ini, yaitu Mesin CNC Mill dan alat ukur Digital Dial Gauge. Eksperimen ini menghasilkan data berupa nilai maksimal deformasi yang diperoleh dari pengukuran pada titik-titik pengukuran

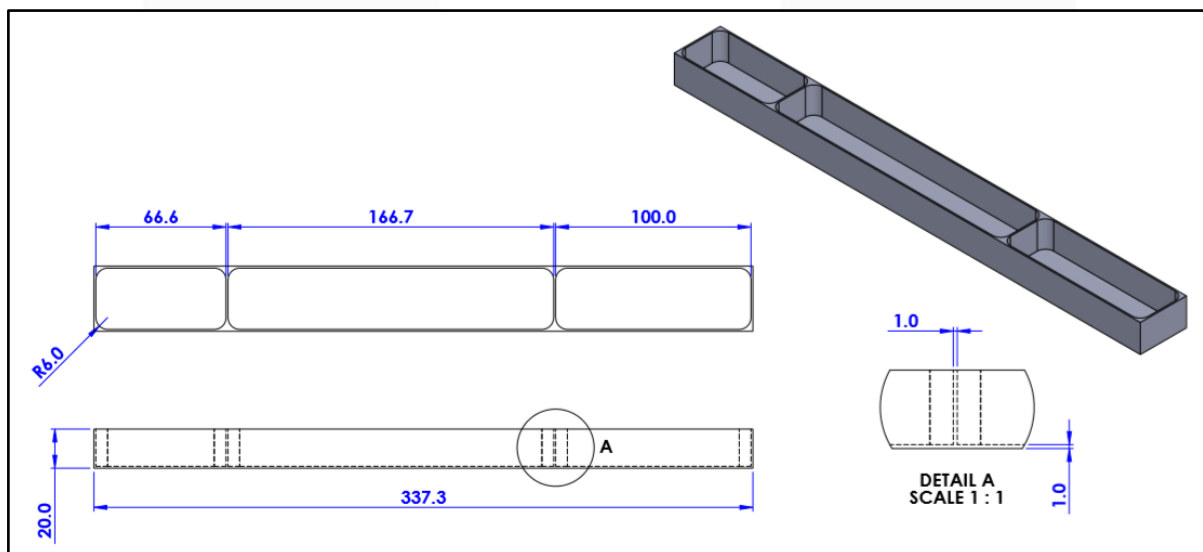
yang telah ditentukan. Dalam eksperimen ini, nilai deformasi yang diperoleh kemudian diolah menggunakan Metode Taguchi dan uji ANOVA untuk mendapatkan nilai S/N ratio. Penentuan nilai S/N ratio ini bertujuan untuk mendapatkan kombinasi parameter pemesinan milling yang optimum untuk menghasilkan deformasi yang minimum pada *thin wall component*.



Gambar 2 Prosedur Eksperimen

2.2 Material Benda Kerja

Material benda kerja dalam studi ini menggunakan material aluminium alloy 6061. Material aluminium alloy 6061 digunakan secara luas dalam industri manufaktur, terutama industri otomotif dan penerbangan. Dimensi *thin wall component* yang dibuat dalam studi ini ditunjukkan pada Gambar 3. *Mechanical* dan *physical properties* dari aluminium alloy 6061 ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 3 Dimensi Thin Wall Component (Dimensi dalam mm)

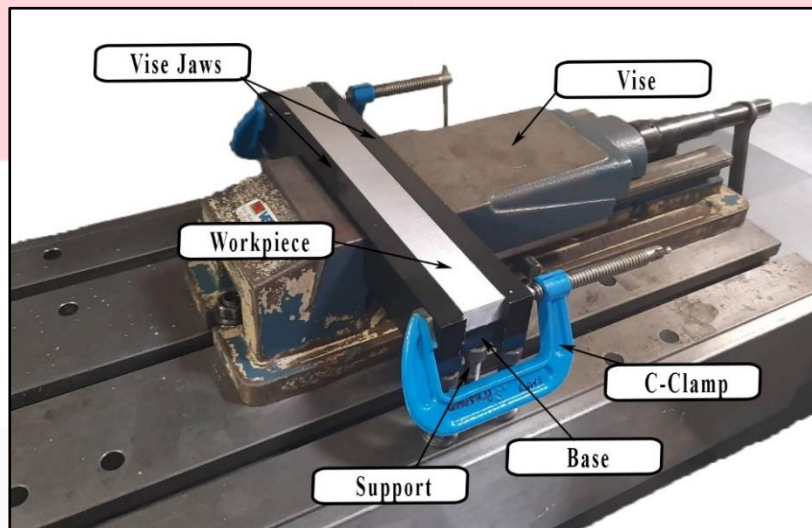
Tabel 1 Mechanical dan Physical Properties Aluminium Alloy 6061

Spesifikasi	Value
Density	2,7 g/cm ³
Melting point	588°C
Tensile strength	115 MPa
Yield strength	48 MPa
Shear strength	83 MPa
Fatigue strength	62 MPa

<i>Elastic modulus</i>	70-80 GPa
<i>Poisson's ratio</i>	0,33
<i>Elongation</i>	25%
<i>Hardness</i>	30

2.3 Eksperimen Setup

Eksperimen proses pemesinan dilakukan dengan menggunakan mesin CNC 3-axis *Vertical Machining Centre* (VMC) HAAS VF-2 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3a. *Cutting tools* yang digunakan adalah endmill HSS berdiameter 12 mm dengan empat flute. Material benda kerja dipegang dengan menggunakan *fixture vise* yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Clamping System

Parameter pemesinan yang digunakan dalam studi ini adalah *feed-rate* (f), *spindle speed* (s), dan *depth of cut* (d) dengan masing-masing memiliki tiga level seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Pada eksperimen ini digunakan desain eksperimen Taguchi L_9 (3^3) *Orthogonal Array* dengan jumlah eksperimen sebanyak 9 kombinasi yang ditunjukkan pada Tabel 3.

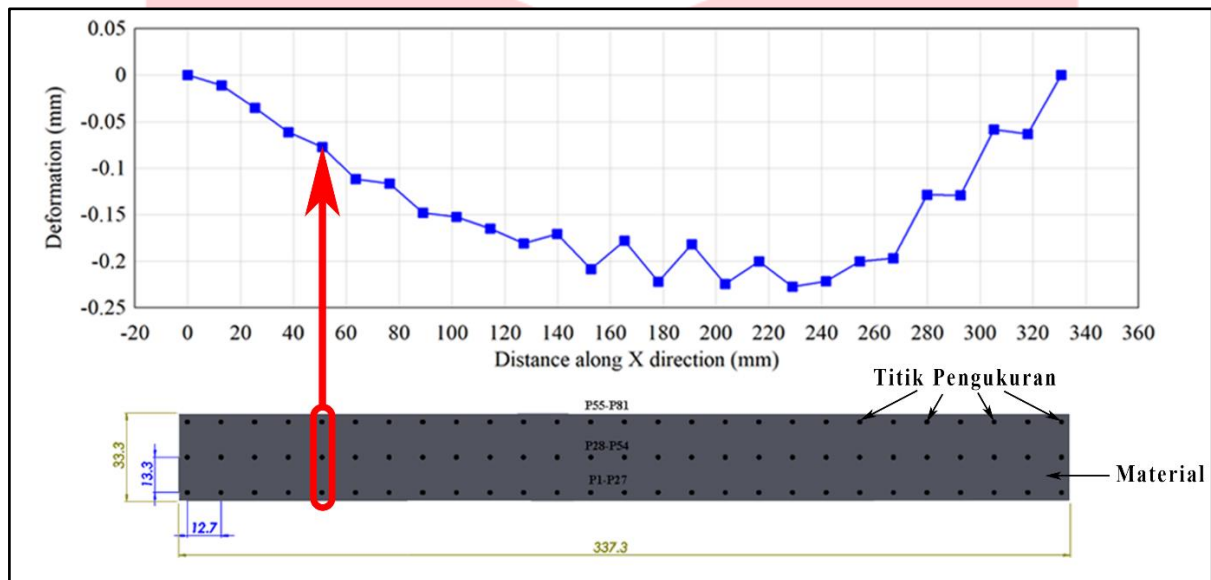
Tabel 2 Parameter proses pemesinan dan level

Parameter	Satuan	Level		
		1	2	3
<i>Feed-rate</i> (f)	mm/min	300	500	700
<i>Spindle Speed</i> (s)	rpm	1500	1600	1700
<i>Depth of Cut</i> (d)	mm	0,5	0,75	1,0

Tabel 3 Kombinasi Sampel berdasarkan Taguchi L_9 (3^3) *Orthogonal Array*

Eksperimen	<i>Feed-rate</i> (mm/min)	<i>Spindle Speed</i> (rpm)	<i>Depth of Cut</i> (mm)
T1	300	1500	0,50
T2	300	1600	0,75
T3	300	1700	1,00
T4	500	1500	0,75
T5	500	1600	1,00
T6	500	1700	0,50
T7	700	1500	1,00
T8	700	1600	0,50
T9	700	1700	0,75

Karakteristik kualitas yang menjadi fokus pembahasan dalam eksperimen ini adalah nilai deformasi. Nilai deformasi diukur dengan menggunakan *Digital Dial Gauge* dengan tingkat ketelitian 0.001 mm atau 1 micron. Dalam proses pengukuran deformasi benda kerja, *Digital Dial Gauge* digerakan dengan menggunakan CNC Router menuju ke titik-titik pengukuran. Dalam studi yang dilakukan oleh Moulai-khatir [8] didapatkan bahwa jumlah titik pengukuran yang optimal untuk mengukur kerataan suatu permukaan benda kerja adalah 81 titik pengukuran. Berdasarkan hal tersebut, pengukuran deformasi dalam studi ini dilakukan sebanyak 81 titik pengukuran yang terbagi menjadi tiga *line* horizontal. Pada masing-masing *line* terdiri dari 27 titik pengukuran dengan jarak masing-masing 12,7 mm antar titiknya. Selanjutnya data yang diperoleh diambil rata-ratanya secara vertikal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

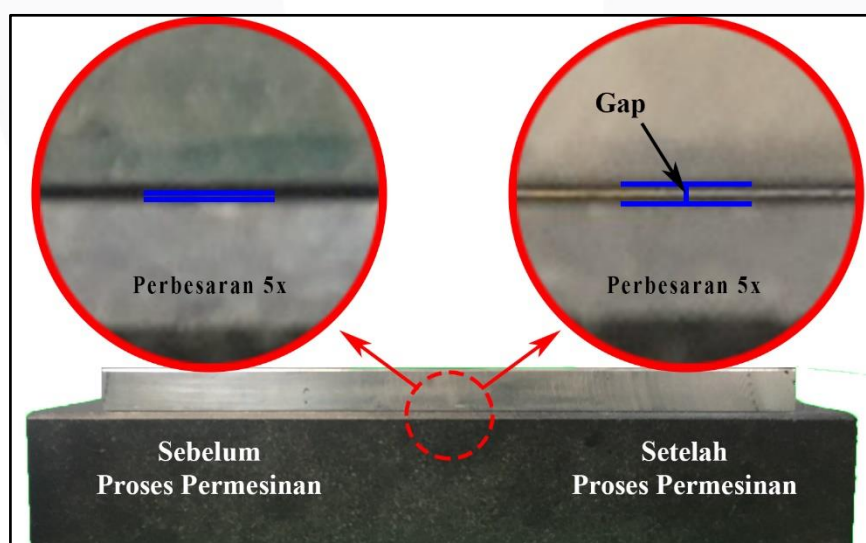


Gambar 5 Titik Pengukuran Deformasi

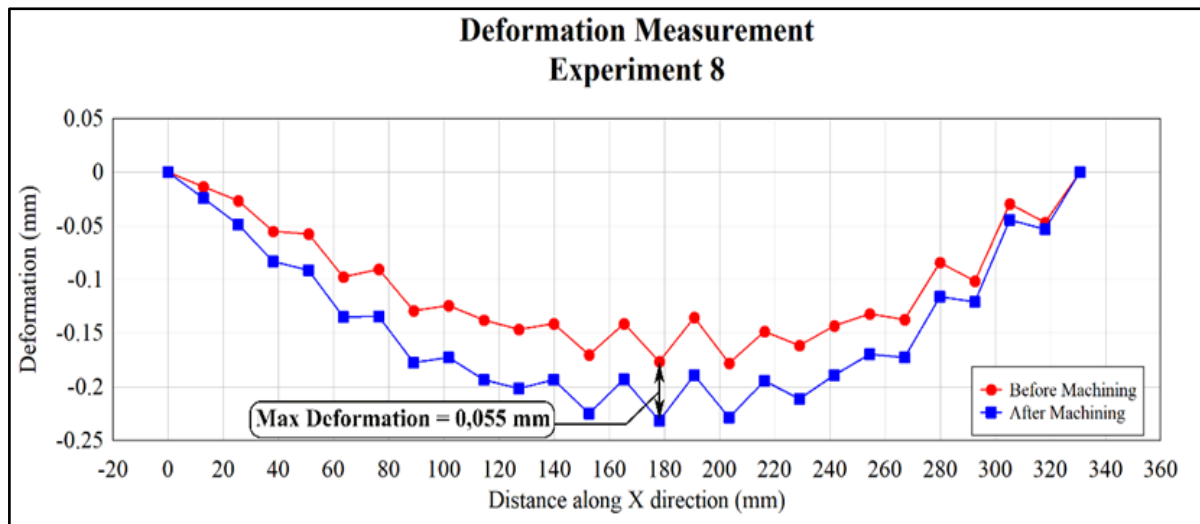
3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 Hasil Eksperimen

Pelaksanaan eksperimen dilakukan dengan menggunakan mesin CNC Mill dengan material aluminium alloy 6061 dan alat bantu ukur *Digital Dial Gauge*. Gambar 6 menunjukkan terdapatnya gap yang mengindikasikan bahwa telah terjadi deformasi benda kerja antara sebelum dan sesudah proses pemesian. Gambar 7 menunjukkan contoh grafik hasil pengukuran deformasi sebelum dan sesudah pemesian pada eksperimen T8, dalam hal ini nilai yang diambil adalah nilai selisih terbesar dari masing-masing titik pengukuran.



Gambar 6 Deformasi Benda Kerja



Gambar 7 Grafik Nilai Deformasi Sebelum dan Sesudah Pemesinan Eksperimen 8

Tabel 4 Hasil Eksperimen

Eksperimen	Feed-rate (mm/min)	Spindle Speed (rpm)	Depth of Cut (mm)	Maks. Deformasi (mm)
T1	300	1500	0,5	0,069
T2	300	1600	0,75	0,076
T3	300	1700	1,0	0,086
T4	500	1500	0,75	0,060
T5	500	1600	1,0	0,072
T6	500	1700	0,5	0,077
T7	700	1500	1,0	0,076
T8	700	1600	0,5	0,055
T9	700	1700	0,75	0,071

Tabel 4 menunjukkan hasil eksperimen yang telah dilakukan dengan meninjau dari nilai maksimum deformasi yang terjadi pada benda kerja sebelum dan sesudah proses pemesinan. Pengambilan data deformasi menggunakan alat *Digital Dial Gauge* dengan tingkat ketelitian hingga 0.001 mm atau 1 micron. Pada tabel tersebut didapatkan nilai deformasi yang minimum sebesar 0,055 mm pada eksperimen T8, sedangkan nilai deformasi yang maksimum sebesar 0,086 mm terjadi pada eksperimen T3.

3.2 Analisa Nilai *S/N Ratio* Eksperimen dan Setiap Level

Pada penerapan analisis Taguchi, terdapat tiga tipe karakteristik dari *Signal to Noise ratio*, yaitu *Normal is the best*, *Large is better*, dan *Smaller is better* [9]. Dalam eksperimen ini karakteristik *Signal to Noise ratio* yang digunakan adalah *smaller is better*. Pemilihan karakteristik ini didasarkan pada aspek yang diteliti yaitu nilai deformasi, dimana semakin kecil nilai deformasi maka kualitas benda kerja yang dihasilkan akan semakin baik. Karakteristik kualitas *smaller is better* dihitung berdasarkan persamaan *S/N Ratio* yang ditunjukkan pada persamaan 1.

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

Dimana n merupakan jumlah eksperimen dan y_i adalah nilai respon dari percobaan ke-i. Hasil perhitungan *S/N Ratio* dari masing-masing eksperimen ditunjukkan pada Tabel 5.

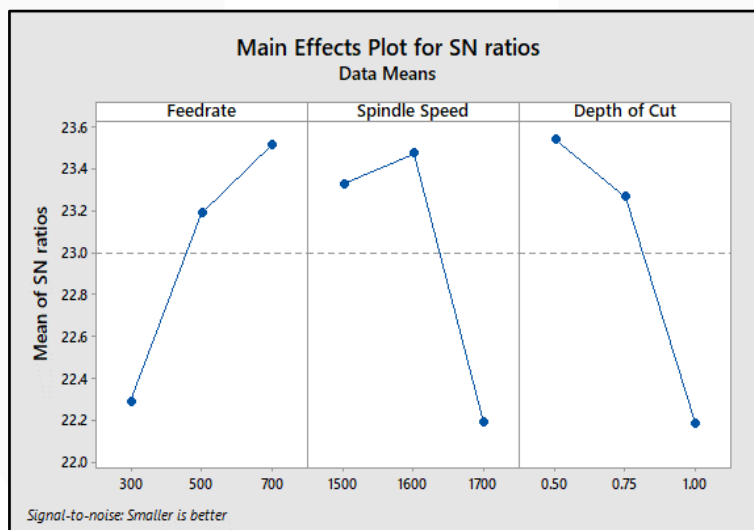
Tabel 5 Hasil *S/N Ratio* Eksperimen

Eksperimen	<i>S/N Ratio</i> Maks. Deformasi
T1	23,168
T2	22,331
T3	21,349
T4	24,474
T5	22,875
T6	22,272
T7	22,413
T8	25,132
T9	22,954

Perhitungan *S/N Ratio per level* bertujuan untuk mendapatkan *level* yang optimal untuk masing-masing parameter. Perhitungan *S/N ratio* untuk *level* dihitung dengan menjumlahkan nilai *S/N ratio* eksperimen yang menggunakan *level* terkait. Perhitungan *S/N ratio* untuk *level* dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab 18. Hasil perhitungan *S/N Ratio per level* ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Nilai *S/N Ratio per Level*

Level/Faktor	<i>Feed-rate</i>	<i>Spindle Speed</i>	<i>Depth of Cut</i>
1	22,29	23,33	23,54
2	23,19	23,48	23,27
3	23,52	22,19	22,18
Delta	1,23	1,29	1,36
Rank	3	2	1



Gambar 8 Grafik *S/N Ratio*

Parameter optimum ditentukan berdasarkan nilai *S/N Ratio* terbesar dari masing-masing *level*. Gambar 8 merupakan nilai *S/N Ratio* yang diterjemahkan dalam bentuk grafik. Berdasarkan Tabel 6 dan Gambar 8, dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan nilai deformasi yang lebih baik (*smaller is better*) parameter pemesinan yang perlu dipilih adalah parameter *feed-rate*= 700 mm/min, parameter *spindle speed*= 1600 rpm, dan parameter *depth of cut*= 0,5 mm. Berdasarkan hasil *S/N Ratio per level* ini juga didapatkan bahwa dari ketiga parameter yang dijadikan variabel dalam studi ini, parameter *depth of cut* menjadi parameter yang memiliki pengaruh yang paling besar terhadap hasil deformasi benda kerja yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan studi yang dilakukan oleh Ji et al [10] yang menjelaskan bahwa semakin kecil nilai *depth of cut* maka residual stress yang diinduksikan selama proses pemesinan menjadi semakin kecil juga, sehingga berdampak pada deformasi yang dihasilkan menjadi berkurang.

Selanjutnya uji ANOVA dilakukan untuk mengidentifikasi kontribusi masing-masing parameter dan signifikansinya terhadap variable respon. Tabel 7 menunjukkan hasil uji ANOVA terhadap respon nilai deformasi. Berdasarkan hasil uji ANOVA, parameter *depth of cut* memberikan kontribusi terhadap nilai deformasi benda kerja sebanyak 29,33 %, parameter *spindle speed* sebanyak 28,68 %, dan parameter *feed-rate* sebanyak 22,85 %. Berdasarkan hasil uji ANOVA ini juga dapat diketahui bahwa ketiga parameter pemessinan ini kurang memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai deformasi yang dihasilkan. Hal ini dapat diketahui dengan melihat nilai P-Value dari masing-masing parameter pemessinan, dimana nilai P-Value dari ketiga parameter pemessinan lebih besar dari nilai alpha $\alpha=0.05$.

Tabel 7 ANOVA Respon Deformasi

Parameter	DF	SS	F-Value	P-Value	Kontribusi
<i>Feed-rate</i>	2	0,000158	1,19	0,456	22,85 %
<i>Spindle Speed</i>	2	0,000198	1,50	0,400	28,68 %
<i>Depth of Cut</i>	2	0,000202	1,53	0,395	29,33 %
<i>Error</i>	2	0,000132		DF = Degree of Freedom	
<i>Total</i>	8	0,000690		SS = Sum of Square	

4. KESIMPULAN

Pada studi ini, proses analisis terhadap pengaruh parameter *feed-rate*, *spindle speed*, dan *depth of cut* untuk meminimasi nilai deformasi yang terjadi pada *thin wall component* berbahan aluminium alloy 6061 telah dilakukan dengan kesimpulan sebagai berikut.

- Kombinasi parameter pemessinan yang dapat mengoptimasi nilai deformasi benda kerja berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan adalah parameter *depth of cut* sebesar 0,5 mm, parameter *spindle speed* sebesar 1600 rpm, dan parameter *feed-rate* sebesar 700 mm/min. Kombinasi parameter pemessinan ini menghasilkan nilai deformasi sebesar 0,055 mm.
- Berdasarkan uji ANOVA yang dilakukan, parameter yang memberikan kontribusi paling besar yaitu parameter *depth of cut* sebesar 29,33 %, parameter *spindle speed* sebesar 28,68 %, dan yang memberikan kontribusi paling kecil yaitu parameter *feed-rate* sebesar 22,85 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Popma, *Computer aided process planning for high-speed milling of thin-walled parts*. 2010.
- [2] G. Sridhar and R. B. P, "Understanding the challenges in machining thin walled thin floored Avionics components," *Int. J. Appl. Sci. Eng. Res.*, vol. 2, no. 1, pp. 79–92, 2013.
- [3] 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.
- [4] W. M. Sim, "Challenges of residual stress and part distortion in the civil airframe industry," *Int. J. Microstruct. Mater. Prop.*, vol. 5, no. 4–5, pp. 446–455, 2010.
- [5] J. Z. Zhang and J. C. Chen, "Surface roughness optimization in a drilling operation using the taguchi design method," *Mater. Manuf. Process.*, vol. 24, no. 4, pp. 459–467, 2009.
- [6] A. Unadi, T. Sjafrizal, R. Anugraha, and M. Iqbal, "Optimizing Milling Process Parameters of Bovine Horns for Maximizing Surface Quality and Minimizing Power Consumption," vol. 171, no. Icoemis, pp. 359–366, 2019.
- [7] E. Kuram, B. T. Simsek, B. Ozcelik, E. Demirbas, and S. Askin, "Optimization of the cutting fluids and parameters using Taguchi and ANOVA in milling," *WCE 2010 - World Congr. Eng. 2010*, vol. 2, pp. 1292–1296, 2010.
- [8] D. Moulai-khatir, E. Pairel, and H. Favreliere, "Influence of the probing definition on the flatness measurement," vol. 15, pp. 4–10, 2018.
- [9] J. Ribeiro, H. Lopes, L. Queijo, and D. Figueiredo, "Optimization of cutting parameters to minimize the surface roughness in the end milling process using the Taguchi method," *Period. Polytech. Mech. Eng.*, vol. 61, no. 1, pp. 30–35, 2017.
- [10] C. Ji, S. Sun, B. Lin, and J. Fei, "Effect of cutting parameters on the residual stress distribution generated by pocket milling of 2219 aluminum alloy," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 10, no. 12, pp. 1–15, 2018.