

PENGARUH PARAMETER PERMESINAN TERHADAP BURR FORMATION PADA PROSES MILLING DENGAN CNC ROUTER ALUMINIUM SHEET 1100

Fariq Urbeyni⁽¹⁾, Bambang Dwi Haripriadi⁽²⁾

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bengkalis

Jl.Bathin Alam Desa Sungai Alam, Bengkalis, Riau-Indonesia

Email: ¹fariq.urbeyni05@gmail.com, ²bambang@polbeng.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai Burr Formation pada benda aluminium sheet 1100 menggunakan metode pemrosesan milling router dengan parameter kedalaman makan (1 mm ; 1,5mm ; 2mm), tool (4mm ; 5mm ; 6mm), feeding (100m/menit ; 200m/menit ; 300m/menit), speed (5000rpm ; 8000rpm ; 12000rpm) dan cairan pendingin (coolant ; udara ; oli SAE 40). penelitian ini dilakukan di lab robotika jurusan Teknik Elektronika di kampus Politeknik Negeri Bengkalis. Sampel digunakan berukuran 100 x 60 mm sebanyak 27 buah yang akan mendapat perlakuan berbeda variasi diameter tool end mill, kedalaman pemakanan, feeding, speed dan cairan pendingin. Alat ukur yang digunakan untuk mengukur burr formation benda kerja tersebut adalah microscope USB. Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Taguchi dan Anova. Hasil penelitian menunjukkan nilai burr terendah diperoleh pada kedalaman makan 1mm, tool 6mm, feeding 50 m/menit, pendingin oli dan speed 5000 rpm yaitu 0,2288 sedangkan nilai burr tertinggi diperoleh pada kedalaman makan 1,5mm, tool 5mm, feeding 50 m/menit, pendingin coolant dan speed 12000 rpm yaitu 0,590967. Berdasarkan analisis of varian (ANOVA) bahwa parameter yang paling signifikan dalam mempengaruhi burr formation adalah tool dan cairan pendingin.

Kata kunci: Burr Formation, Milling Router, Taguchi

Abstract

This study aims to determine the burr formation value of aluminium sheet 1100 object using the milling router machining method with depth parameters feeding (1mm ; 1,5mm ; 2mm), feeding (100 mm/minute ; 200 mm/minute ; 300 mm/minute), speed (5000rpm ; 8000rpm ; 12000rpm) and coolant (coolant ; air ; oil SAE 40). This research was carried out in a robotics laboratory majoring in electronics engineering at the bengkalis state polytechnic campus. The samples used were 100x60 mm in size with 27 pieces which would be treated differently by varying the end mill tool diameter, feeding depth, feeding, speed, and coolant. The measurement used to measure the burr formation of the workpiece is a microscope USB, data analysis techniques used are the taguchi and ANOVA methods. The results showed that the lowest burr value was obtained at 1mm depth, 6mm tool, 50 m/minute feeding, oil cooler and 5000 rpm speed ie 0,2288 while the highest was obtained at 1,5mm depth, 5mm tool, 50 m/minute feeding, coolant cooler and 12000 rpm speed ie 0,590967. Based on the analysis of varian (ANOVA) that the significant parameter in influencing the burr formation is the tool and coolant

Keywords: Burr Formation, Milling Router, Taguchi, ANOVA

PENDAHULUAN

Tingkat keandalan yang tinggi dan ketahanan terhadap kegagalan komponen mesin dalam berbagai aplikasi teknik dapat dijamin dengan kualitas permukaan yang lebih baik. Secara umum, kualitas permukaan komponen mesin bergantung pada kondisi pemotongan, bahan pahat, dan keausan pahat. Selain itu, itu dipengaruhi oleh perubahan

permukaan seperti tanda pakan, bahan yang diendapkan, retak, sobek, burr dan lain-lain [1].

Burr formation sebuah fenomena yang mirip dengan pembuatan *chip*, adalah masalah umum yang terjadi pada beberapa sektor industri, seperti dirgantara dan otomotif sektor. Itu juga salah satu yang paling menyusahakan hambatan untuk produktivitas tinggi dan otomatisasi dan sangat mempengaruhi kualitas bagian mesin. Untuk memastikan dengan komponen daya saing, tepat dan bebas burr toleransi ketat dan permukaan akhir yang lebih baik dituntut [2].

Burr formation dalam benda kerja mesin adalah "productivity killers" yang nyata. Tidak hanya mereka membutuhkan operasi *finishing* tambahan (*deburring*) dan mempersulit perakitan, tetapi operasi ini dapat merusak komponen. Menangani komponen dengan *burr* merupakan tantangan bagi pekerja. Idealnya, ingin menghindari, atau setidaknya meminimalkan, gerinda dengan pemilihan alat yang cermat, parameter pemesinan dan jalur alat atau bahan kerja dan desain bagian. Bahkan, sebagian besar *burr* dapat dicegah atau diminimalkan dengan kontrol proses. Baru-baru ini, lebih banyak penelitian dan minat telah difokuskan pada masalah yang terkait dengan *burr* dari permesinan. Fokusnya secara *traditionally* adalah pada proses *deburring* tetapi memahami proses pembentukan *burr* sangat penting untuk pencegahan *burr*. Namun, tingkat pengetahuan ilmiah dalam hal ini baru saja berkembang, Sangat penting untuk dapat mengaitkan detail kinerja komponen dan fungsional dengan persyaratan untuk kondisi tepi [9].

Untuk secara efektif mengatasi pencegahan duri, seluruh "process chain" dari desain ke manufaktur harus dipertimbangkan, di sini kita melihat pentingnya mengintegrasikan semua elemen yang mempengaruhi *burr*, dari desain bagian, termasuk pemilihan bahan, hingga proses pemesinan.

Mesin CNC milling router

Mesin CNC milling merupakan pengembangan dari mesin milling konvensional. Pada awalnya mesin CNC milling terdiri dari 3 sumbu yaitu XYZ yang bisa membuat produk secara 3D. Dengan berkembangnya teknologi, sumbu mesin CNC milling sudah mencapai 5 sumbu sehingga dapat membuat produk dengan kerumitan yang tinggi

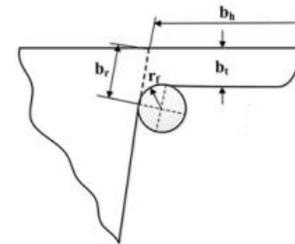
Fungsi dari tiap sumbu dari mesin CNC milling adalah sumbu XY berfungsi untuk menggerakkan meja searah dengan sumbu X dan Y sesuai dengan sistem koordinat kartesius dengan koordinat awal (X 0.000, Y 0.000, Z 0.000). Koordinat X+ menunjukkan arah spindle bergerak kearah kanan dari sumbu X.

Pergerakan dari sumbu X atau Y berfungsi untuk menghasilkan gerakan yang linier sesuai dengan arah sumbu tersebut, sedangkan kombinasi dari pergerakan sumbu X dan Y akan menghasilkan gerakan berbentuk parabolik. Sumbu Z berfungsi untuk menggerakkan tool naik (Z+) dan turun (Z-) atau berfungsi sebagai pengatur kedalaman makan dari proses pemesinan tersebut [4]

Burr Formation

Burr formation adalah salah satu masalah utama yang saat ini dihadapi industri manufaktur. *Burr* terdiri dari yang tidak diinginkan permukaan

diperpanjang di atas benda kerja atau bagian yang hilang pada tepi benda kerja yang harus dihindari atau setidaknya diminimalkan [2].



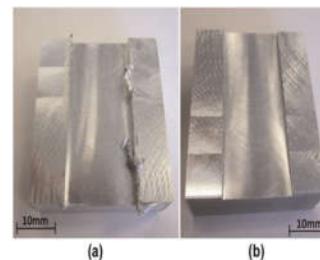
b_h = burr height
 r_f = burr root radius
 b_t = burr thickness
 b_r = burr root thickness

$$\text{Burr value: } g = \frac{4 \cdot b_r + 2 \cdot r_f + b_t + b_h}{8}$$

Gambar 1 Typical burr dan nomenklatur pengukur yang diusulkan [2]

Fenomena yang mirip dengan pembentukan *chips burr* berakhir dengan pemotongan *burr*. *Burr* tidak diinginkan karena dapat membahayakan penanganan dan bisa mengganggu operasi perakitan selanjutnya dengan demikian, merka haru dihilangkan diberikutnya, proses *deburring* untuk memungkinkan *burr* terpisah untuk memenuhi toleransi yang telah ditentukan [8].

Burr formation mempengaruhi akurasi dan kualitas benda kerja dalam beberapa cara: distorsi dimensi pada bagian tepi, tantangan untuk perakitan dan penanganan yang disebabkan oleh gerinda di lokasi sensitif pada benda kerja dan kerusakan yang dilakukan pada permukaan bawah pekerjaan dari deformasi yang terkait dengan pembentukan gerinda. *burr* khas terbentuk pada komponen logam karena keluar dari ujung tombak. ada kerusakan besar di bawah permukaan dan deformasi yang terkait dengan *burr*, bentuknya cukup kompleks dan, karenanya, uraian *burr* bisa sangat kompleks, dan kehadiran duri dapat menyebabkan masalah dalam pembuatan [9].



Gambar 2 A. Burr formation besar B. Burr formation dengan skala kecil [2]

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan Yang Digunakan

Untuk penelitian ini spesimen yang digunakan dari material aluminium *sheet* 1100. dengan panjang 100 mm lebar 60 mm tebal 5 mm. Jenis material ini dipilih sebagai benda kerja yang akan dipergunakan pada peneliti ini. Selain itu jenis material tersedia banyak di pasaran lokal.

Peralatan Yang Digunakan

Peralatan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah:

1. Mesin CNC Milling Router



Gambar 3 Mesin CNC *milling router*

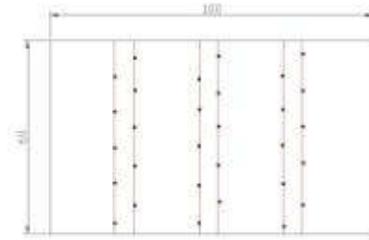
2. Microscope USB

Microscope USB adalah alat yang digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan, dengan *Microscope* USB 1600x. Mikroskop Digital 1600x ini dirancang khusus untuk mengamati objek *micro*.



Gambar 4 *Microscope* USB

Metoda Pengukuran



Gambar 5 Posisi Titik Pengukuran *burr formation*

Rancangan Penelitian

Rancangan eksperimen ini diawali dengan pemilihan matriks ortogonal yang tergantung dari banyaknya variabel kontrol dan level dari masing-masing variabel tersebut. Tabel 3.1 menunjukkan jenis variabel bebas, jumlah level dan nilai dari variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 1 Variabel Bebas dan Penentuan Level

NO	Parameter	Level 1	Level 2	Level 3
1	Kedalaman makas (a)	1 mm	1,5 mm	2 mm
2	T_{sol}/θ	4 mm	5 mm	6 mm
3	Feeding (f)	30 mm/menit	40 mm/menit	50 mm/menit
4	Cairan pendingin	coolant	udara	oli
5	Speed	5000 rpm	8000 rpm	12000 rpm

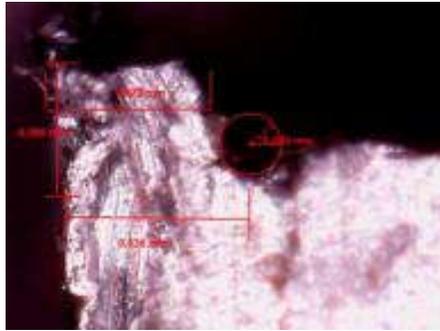
Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 3.1 didapatkan pemilihan *orthogonal array design* untuk rancangan eksperimen ini, sehingga matrik ortogonal yang digunakan adalah L27 (3^5). Matrik ortogonal jenis L27 (3^5) memiliki 5 kolom dan 27 baris yang mampu digunakan untuk empat buah variabel bebas yang masing-masing memiliki 3 level.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan Data Burr Formation



Gambar 6 *Burr formation* sebelum di ukur



Gambar 7 Bur Formation

Data yang diambil dari penelitian ini adalah nilai Burr Formation Dimana pahat yang digunakan adalah pahat end mill HSS dan bahan yang digunakan adalah aluminium 1100. Data yang telah didapatkan dari pengukuran keausan menggunakan microscope USB 1600x pada tiap-tiap parameter akan dimasukkan ke tabel matrik ortogonal L27 (3⁵) acuan dari Tabel 3 agar dapat diolah. Data hasil pemesinan dengan rancangan eksperimen diatas akan dilanjutkan untuk dianalisis. Pengolahan data akan menggunakan software minitab 17 berdasarkan rancangan eksperimen yang dibuat yaitu dengan metode Taguchi orthogonal-array L₂₇ (3⁵) kemudian dilakukan perhitungan, dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2 Tabel Data Dari Matrik Ortogonal L27 (3⁵)

NO	Kedalaman makan (a) mm	Tool (b) mm	Feeding (c) mm/rev	Cairan pendingin	Speed (rpm) mm/rev	Burr value (g) mm
1	1	4	30	Coolant	5000	0,535033
2	1	4	30	Coolant	8000	0,5424
3	1	4	30	Coolant	12000	0,4471
4	1	5	40	Udara	5000	0,4294
5	1	5	40	Udara	8000	0,318933
6	1	5	40	Udara	12000	0,50485
7	1	6	30	Oil	5000	0,2238
8	1	6	30	Oil	8000	0,178133
9	1	6	30	Oil	12000	0,243867
10	1,5	4	40	Oil	5000	0,379733
11	1,5	4	40	Oil	8000	0,338167
12	1,5	4	40	Oil	12000	0,281267
13	1,5	5	30	Coolant	5000	0,510133
14	1,5	5	30	Coolant	8000	0,559433
15	1,5	5	30	Coolant	12000	0,376967
16	1,5	6	30	Udara	5000	0,436033
17	1,5	6	30	Udara	8000	0,303833
18	1,5	6	30	Udara	12000	0,3475
19	2	4	30	Udara	5000	0,3232
20	2	4	30	Udara	8000	0,276067
21	2	4	30	Udara	12000	0,3784
22	2	5	30	Oil	5000	0,288567
23	2	5	30	Oil	8000	0,452933
24	2	5	30	Oil	12000	0,3682
25	2	6	40	Coolant	5000	0,361667
26	2	6	40	Coolant	8000	0,322433
27	2	6	40	Coolant	12000	0,381448

Dibawah ini merupakan analisa kuantitatif menggunakan program minitab 17 analisis desain taguchi. Untuk mengetahui faktor apa yang paling berpengaruh dan signifikan terhadap Burr Formation dalam proses pemotongan bahan aluminium 1100. Didalam analisis tersebut akan ditampilkan data hasil analisis taguchi berdasarkan Burr Formation di setiap tahap percobaan.

Rasio S/N dari respon Burr Formation tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan (4.1). Contoh perhitungan rasio S/N dari Burr Formation untuk kombinasi setting faktor pertama dengan karakteristik kualitas semakin kecil semakin baik adalah sebagai berikut:

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right] \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\frac{1}{1} (0,535033^2) \right]$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log [0,2862603] = 5,43239$$

$$\frac{S}{N} = 5,43239$$

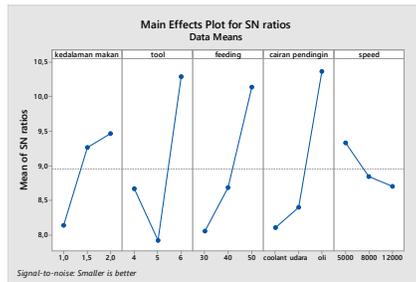
Dari perhitungan minitab17 didapat kan hasil S/N Rasio dapat di lihat pada Tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 3 Tabel Data Dari Matrik Ortogonal L27 (3⁵)

NO	Kedalaman makan (a) mm	Tool (b) mm	Feeding (c) mm/rev	Cairan pendingin	Speed (rpm) mm/rev	Burr value (g) mm	S/N value
1	1	4	30	Coolant	5000	0,535033	5,43239
2	1	4	30	Coolant	8000	0,5424	5,31361
3	1	4	30	Coolant	12000	0,4471	6,59191
4	1	5	40	Udara	5000	0,4294	7,34276
5	1	5	40	Udara	8000	0,518933	5,67777
6	1	5	40	Udara	12000	0,50485	5,78975
7	1	6	30	Oil	5000	0,2238	11,3109
8	1	6	30	Oil	8000	0,178133	11,1149
9	1	6	30	Oil	12000	0,243867	12,2369
10	1,5	4	40	Oil	5000	0,379733	8,30241
11	1,5	4	40	Oil	8000	0,338167	9,41738
12	1,5	4	40	Oil	12000	0,281267	11,6231
13	1,5	5	30	Coolant	5000	0,510133	10,1890
14	1,5	5	30	Coolant	8000	0,559433	8,38764
15	1,5	5	30	Coolant	12000	0,376967	8,68304
16	1,5	6	30	Udara	5000	0,436033	7,20961
17	1,5	6	30	Udara	8000	0,505833	10,3473
18	1,5	6	30	Udara	12000	0,3475	9,17341
19	2	4	30	Udara	5000	0,3232	9,73899
20	2	4	30	Udara	8000	0,276067	11,1797
21	2	4	30	Udara	12000	0,3784	8,44098
22	2	5	30	Oil	5000	0,288567	10,8484
23	2	5	30	Oil	8000	0,432933	7,27139
24	2	5	30	Oil	12000	0,3682	8,67123
25	2	6	40	Coolant	5000	0,361667	10,4894
26	2	6	40	Coolant	8000	0,322433	9,33131
27	2	6	40	Coolant	12000	0,381448	8,79113

Berdasarkan hasil analisa S/N ratios pada gambar 3 yang memberikan kemiringan kurva pengaruh yang besar berturut-turut adalah tool, cairan

pendingin, *feeding*, kedalaman makan dan *speed*. Akan tetapi berdasarkan analisa statistik *Analisis Of Variances* (ANOVA) tabel 4.4 hanya *tool* dan cairan pendingin yang memiliki pengaruh yang berarti terhadap tinggi/rendahnya nilai rasio *Burr Formation*. Hal ini diindikasikan nilai *P-value* yang ditetapkan 95% tingkat keyakinan, yaitu $P \leq 0,05$.



Gambar 8 grafik respon S/N

Adapun yang menyebabkan *tool* dan cairan pendingin yang memiliki pengaruh yang berarti pada penelitian ini adalah disebabkan oleh perbedaan variasi yang antara diameter *tool* 5 mm dan 6 mm dan antara cairan pendingin udara dan oli. Variasi dari tingkatan (level) dari kedua parameter inilah yang menyebabkan mereka memiliki pengaruh yang berarti pada penelitian ini seperti yang ditunjukkan dari hasil analisa dengan metode ANOVA.

Tabel 4 Hasil Analisis Of Variances (ANOVA)

No	Source	Df	Adj SS	Adjin MS	F-value	P-value
1	Kedalaman makan (<i>a</i>)	2	0,027805	0,013903	4,73	0,024
2	<i>Tool</i> (<i>b</i>)	2	0,046699	0,023349	7,94	0,004
3	<i>Feeding</i> (<i>f</i>)	2	0,034093	0,017047	5,80	0,013
4	Cairan pendingin	2	0,045171	0,022586	7,68	0,005
5	<i>speed</i>	2	0,003228	0,001614	0,55	0,588
6	Error	16	0,047058	0,002941		
7	Total	26	0,204055			

Sedangkan variasi tingkatan dari *feeding* dan kedalaman makan tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap rasio *burr formation* pada penelitian ini. Hal ini diperlihatkan dari jarak residual yang pendek antara tingkatan untuk ketiga parameter yang disebut diatas. Dengan perbedaan jarak residual yang tidak terlalu besar menyebabkan variasi dari *feeding* dan kedalaman makan tidak dapat mempengaruhi nilai rasio *burr formation* secara berarti. Walaupun memiliki kemiringan kurva yang relatif besar yang mengindikasikan bahwa variasi nilai *feeding* dan kedalaman makan akan menyebabkan perubahan terhadap rasio *burr formation*.

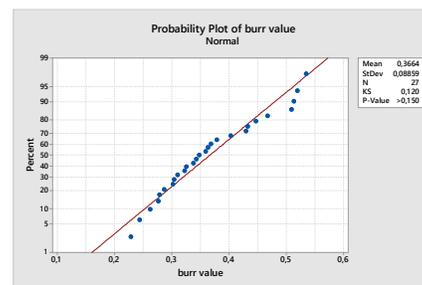
Pengujian Normaliti Residual Pada Burr Formation

Uji distribusi normal dilakukan untuk mengamati penyimpangan model. Sudah dikatakan telah mengikuti distribusi normal jika pada kurva kenormalan residual, apabila titik residual yang dihasilkan telah sesuai atau mendekati garis lurus yang ditentukan. Gambar 4.6 menunjukkan hasil statistik *Kolmogorov-Smirnov* (KS) untuk uji distribusi normal dengan derajat signifikansi $\alpha = 0,05$. Hipotesis:

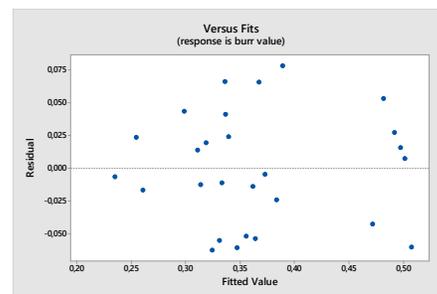
H0: residual model regresi berdistribusi normal

H1: residual model regresi tidak berdistribusi normal.

Berdasarkan tabel statistik *Kolmogorov-Smirnov* untuk $\alpha = 0,05$ dan jumlah pengamatan sebanyak 27 pengamatan adalah 0,2613. Nilai ini akan dijadikan patokan untuk mengambil kesimpulan berdasarkan hasil uji kenormalan data yang telah dilakukan. Nilai statistik *Kolmogorov-Smirnov* adalah 0,120. Nilai *Kolmogorov-Smirnov* yang diperoleh dari pengamatan kurang dari nilai tabel statistik *Kolmogorov-Smirnov* yaitu $0,120 < 0,2613$. Oleh karena itu, kesimpulan hasil uji kenormalan residual adalah residual model regresi linear yang dibuat telah mengikuti distribusi normal. Jadi asumsi asumsi kenormalan residual pada suatu model regresi telah dipenuhi oleh model regresi linear, sehingga model regresi yang telah dibuat bisa digunakan. Dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut.



A



B

Gambar 9 Probability plot of buur value ANOVA

Secara umum dapat disimpulkan bahwa pengujian normaliti residual terhadap hasil *Analisis Of Variances* untuk *burr formation* tidak terjadi gejala heteroskedastisitas, bersifat homogen dan residual berdistribusi berjalan secara normal.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pengamatan terhadap nilai Burr Formation dari hasil milling material aluminium sheet 1100 dengan parameter permesinan kedalaman makan, Tool, Feeding, cairan pendingin dan Speed telah dilakukan. Dari hasil pengamatan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil *analisis of Varian* (ANOVA) menyatakan bahwa parameter yang signifikan atau berpengaruh dalam *burr formation* adalah *tool* dan cairan pendingin, parameter *tool* dan cairan pendingin menghasilkan nilai $P < 0,05$. hal ini menunjukkan bahwa parameter tersebut merupakan faktor yang signifikan dalam mempengaruhi *burr formation*, parameter *tool* memberikan kontribusi yang lebih besar dengan nilai $0,004 < 0,05$ dibandingkan parameter cairan pendingin dengan nilai $0,005 < 0,05$ dalam *burr formation*, hal tersebut bisa dilihat dari nilai P yang dihasilkan oleh parameter *tool* lebih kecil.
2. Hasil keefektifan variasi parameter permesinan *burr formation* kita dapat kedalaman makan 0,024, *tool* 0,004, *feeding* 0,013, cairan pendingin 0,005, dan *speed* 0,588 dalam penelitian ini yang paling berpengaruh keefektifannya pada *tool* dengan nilai 0,004.

Saran

Dari hasil pengamatan memiliki potensi pada kondisi pemotongan yang dipilih pada penelitian ini, yaitu pada kondisi pemotongan rendah. untuk melakukan pengamatan pada indikator kualitas hasil milling, disarankan untuk melakukan pengamatan pada kondisi-kondisi sebagai berikut:

1. Pada penggunaan pompa untuk mengaliri cairan pendingin
2. Penggunaan mata pahat yang lebih bagus dari pahat HSS
3. Pada kondisi pemotongan tinggi

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Safari, S. Sharif, S. Izman. (2014) Influence of Cutting Conditions on Surface and Sub-Surface Quality of High Speed Dry End Milling

- Ti-6Al-4V: © 2014 Penerbit UTM Press. All rights reserved, 67(3) 131–135.
- [2] Seyed Ali Niknam and Victor Songmene. (2014) Milling burr formation, modeling and control: A review: *_IMechE* 2014,229(6) 893–909.
 - [3] Hidayat Huang.(2017) uji anova, teori satu arah dan dua arah, (www.globalstatistik.com/uji-anova-satu-dua-arah/), diakses 21 November 2017
 - [4] Zoro Zulfikar dan Syafri. (2017) Proses Produksi Prototipe Mesin CNC Router 3-axis: *Jom FTEKNIK* 4(2) 1-6.
 - [5] Anonim. (2015) mengenal prinsip dasar pada kerja milling, (kadekaxcel22.blogspot.com/2015/10/mengenal-prinsip-dasar-pada-kerja.html?m=1), diakses 19 Oktober 2015.
 - [6] Andika Heri Wibowo . (2016) Analisis Pengaruh Feeding Pada Proses End Milling Surface Finish Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Baja Karbon Rendah, Semarang.
 - [7] Agung Sulistyanto. (2018) Pengaruh Pemilihan Jenis Cutting Tool Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Berkontur Pada Pemesinan Milling 3-Axis, Jakarta.
 - [8] Kiha Lee, Ingo Essel, David A. Dornfeld, (2014) Burr Formation In Micro-Milling, Aachen, Germany.
 - [9] Metamiau. (2008) metodetaguchi, (<https://qualityengineering.wordpress.com/2008/06/29/metode-taguchi/>), diakses 29 Juni 2008
 - [10] Suwandi, (2018) Taguchi Methods, (sixigmaindonesia.com/taguchi-methods/), diakses 13 November 2018
 - [11] Anonim. (2014) dasar teori aluminium, (<https://dokumen.tips/documents/dasar-teori-aluminium.html>), diakses 12 Desember 2014
 - [12] Das, Barik. (2014) An experimental study on the burr formation in drilling of aluminum channels of rectangular section: *AIMTDR* 2014,831-1-831-4.
 - [13] Kiha Lee, David A. Dornfeld. (2005) Micro-burr formation and minimization through process control: © 2004 Elsevier Inc.246-252.
 - [14] Seyed Ali Niknam, Yasser Zedan and Victor Songmene. (2012) Burr formation during dry milling of wrought aluminum alloys: *ISME2012*-3476,1-4.
 - [15] Rifki Rizaldi. (2017) Evaluasi unjuk kerja tiga jenis ekstrasi santan kelapa sebagai cairan pendingin terhadap kekasaran permukaan pada proses bubut.