

PENGARUH PEMOTONGAN CO-AXIAL PADA PROSES PEMESINAN TURN-MILLING TERHADAP KEKASARAN MATERIAL ALUMINIUM 6061

Fajar Pratama Putra^[1], Yohanes^[2]

Laboratorium Produksi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau

^[1] fajar.pratama5091@student.unri.ac.id, ^[2] yohanes@lecturer.unri.ac.id

Abstract

Turn and milling processes in machining can be referred as turn-milling processes, where working tool and cutting tool works simultaneously. So in this cutting proces, the chip is produced by a cutting tool that is tangent on the bottom part. The main factor in the machining process is the result of surface roughness. The method of this research is using co-axial turn-milling by applying variations to the rotational speed of the tool and the speed of rotation of the workpiece, so the surface quality produced influences by the parameters of the machining process in the form of tool rotation speed and workpiece rotation speed. The purpose of this research is to find out the surface roughness value and to determine the effect of tool rotation speed and workpiece rotation speed on the surface roughness value of aluminum 6061. In result, the higher the rotational speed of the tool and the speed of rotation of the workpiece, the roughness value on the 6061 aluminum workpiece will be smaller. Based on the roughness class, the parameter of tool rotation speed is 2500 rpm with the workpiece rotation speed of 800 rpm is the best parameter in this study with a roughness value of 0.862 μm .

Keyword : Turn-milling, Co-axial, Tool rotation speed, Workpiece, Surface roughness.

1. Pendahuluan

Salah satu teknologi untuk meningkatkan kualitas hasil produksi khususnya logam yaitu mesin bubut konvensional yang telah dikenal fungsi dan peranannya untuk membuat suatu komponen atau suku cadang. Logam yang sering digunakan pada mesin bubut konvensional yaitu aluminium, salah satunya aluminium 6061 yang banyak beredar di pasaran dengan proses pengerjaan menggunakan satu sisi pahat potong (*single point cutting*) dan cairan pendingin untuk mengurangi peningkatan temperatur proses pemakanan dan untuk ketahanan umur pahat potong (*tool*).

Turn-milling merupakan metode pemesinan yang menerapkan operasi *turning* dan *milling* untuk diaplikasikan pada mesin bubut konvensional, dimana benda kerja dan pahat potong melakukan gerak putar secara bersamaan untuk mengoptimalkan nilai kekasaran permukaan benda kerja sesuai dengan standar yang telah ditentukan.

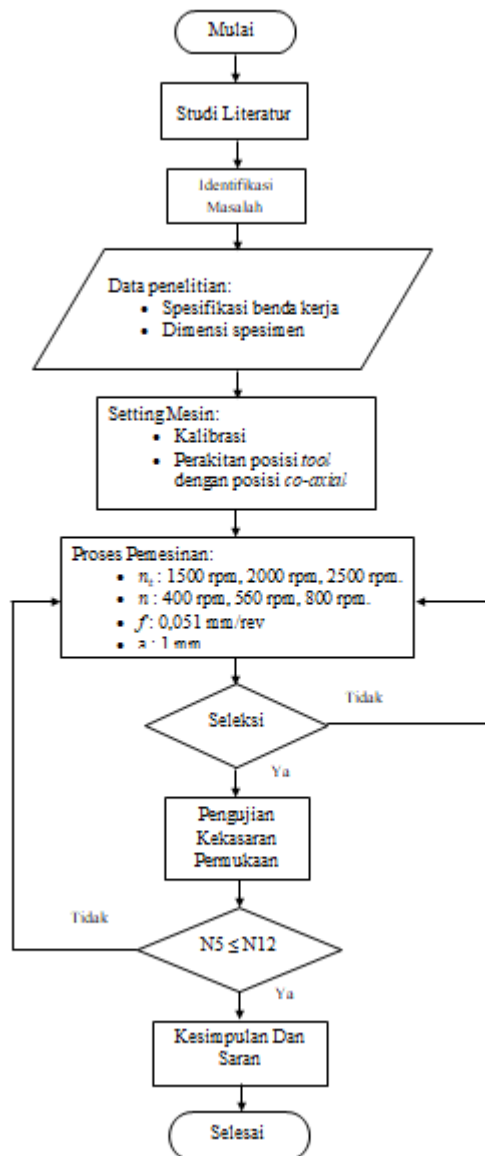
Metode ini digunakan untuk mempercepat titik temu pemotongan, hal ini terjadi karena benda kerja dan pahat potong sama-sama berputar, yang mana nantinya bisa dibedakan lagi menjadi *up* dan *down turn-milling*. Pahat potong yang digunakan yaitu pahat potong mesin frais, sehingga pahat potong mempunyai banyak sisi potong (*multi-point cutting*). Keuntungannya yaitu adanya waktunya jeda pada mata pahat potong sehingga nantinya setiap sisi pahat potong memiliki waktu untuk melakukan proses pendinginan pada saat sisi dari pahat potong berikutnya melakukan pemotongan dengan gerak putar (*rotary tool*).

Pengembangan *turn-milling* dapat dilakukan pada mesin *turning* dan *milling* konvensional [1]. Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian yang dilakukan oleh Yohanes dan Roki, H (2017) dimana mereka menggunakan motor *pneumatic* sebagai media penggerak. Pada penelitian yang dilakukan Yohanes dan Roki, H mempunyai kekurangan yaitu ketika proses pengujian sedang berlangsung *tool* bersentuhan dengan benda kerja, mata pahatnya akan mengalami penurunan kecepatan.

Salah satu faktor yang menentukan optimal atau tidaknya proses pembubutan adalah tingkat kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan. Kualitas permukaan yang dihasilkan pada proses pemesinan dipengaruhi oleh parameter pemesinan yaitu salah satunya dipengaruhi oleh putaran benda kerja (*feeding*), kecepatan potong dan lainnya [2]. Jadi pemilihan proses pemesinan yang tepat sangat dibutuhkan dan nantinya yang akan mempengaruhi kualitas kekasaran permukaan antara lain putaran benda kerja dan putaran *tool*. Karena itu penelitian ini akan mengkaji tentang proses pemotongan *co-axial* pada proses pemesinan *turn-milling* menggunakan *rotary tool* yang telah dirancang di Laboratorium Teknologi Produksi Teknik Mesin Universitas Riau untuk mengetahui pengaruh dari kecepatan putaran *tool* dan kecepatan putaran benda kerja terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja aluminium 6061. Penelitian ini diharapkan menghasilkan data kekasaran permukaan untuk mengetahui data kekasaran yang optimal pada proses *turn-milling* menggunakan metode *co-axial*.

2. Metodologi

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan yang ditunjukkan dengan menggunakan diagram alir seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Turn-milling

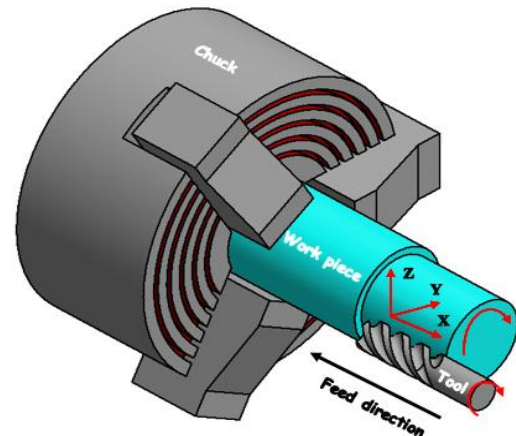
Turn-milling telah diuji lalu dikategorikan menjadi 2, yaitu operasi *axial* dan *orthogonal* [3]. Mereka juga mempelajari bentuk beram yang dihasilkan dan akurasi geometrik benda kerja. Pengerjaan *turn-milling* dengan parameter pemotongan yang berbeda untuk dapat menghasilkan permukaan akhir yang lebih baik, mereka menyimpulkan bahwa batas kecepatan benda kerja tertentu untuk mendapatkan hasil permukaan yang optimal [4].

Pada pengerjaan *turn-milling* biasanya digunakan untuk *crankshaft* dan *landing gear* yang terbuat dari bahan yang sulit dipotong seperti baja 300 M dan A100. Mesin yang memiliki efisiensi

tinggi untuk material yang sulit dipotong menuntut stabilitas yang tinggi pada mesin dari sebuah sistem proses pengerjaan. Meningkatkan efisiensi mesin dan menghindari getaran merupakan persoalan yang penting [5].

2.2 Co-Axial Turn-milling

Co-Axial turn-milling adalah salah satu dari jenis pengerjaan *turn-milling* yang diperkenalkan oleh Schulz (1990). Pada metode ini *tool* dan benda kerja di posisikan *parallel*, seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Co-Axial Turn-milling (Handika, R. 2017)

2.3 Kekasaran Permukaan

Kekasaran merupakan penyimpangan rata-rata aritmatik dari garis rata-rata permukaan. Definisi ini digunakan untuk menentukan harga rata-rata dari kekasaran permukaan. Karakteristik geometris yang ideal dari suatu komponen adalah permukaan yang halus

Dalam dunia industri permukaan benda kerja memiliki nilai kekasaran permukaan yang berbeda, sesuai dengan kebutuhan dari alat tersebut. Nilai kekasaran permukaan memiliki nilai kualitas (N) yang berbeda, nilai kualitas kekasaran permukaan telah diklasifikasikan oleh ISO dimana yang paling kecil adalah N1 yang memiliki nilai kekasaran permukaan (Ra) 0,025 μm dan yang paling tinggi adalah N12 yang nilai kekasarannya 50 μm

2.4 Toleransi Harga Ra

Harga toleransi kekasaran Ra di tunjukan pada Tabel 1. Ra dari suatu permukaan tergantung pada proses pengerjaannya. Seperti pada halnya toleransi ukuran (lubang dan poros) harga kekasaran rata-rata aritmetis Ra juga mempunyai harga toleransi kekasaran. Dengan demikian masing-masing harga kekasaran mempunyai kelas kekasarannya yaitu dari N1 sampai N12. Besarnya toleransi untuk Ra biasanya diambil di antara 50% ke atas dan 25% ke bawah.

Tabel 1. Toleransi Harga Kekasaran Rata-rata Ra (Rochim, T. 2001)

No	Kelas Kekasaran	Harga C.L.A (μm)	Harga Ra (μm)	+50% Toleransi N -250%	Panjang Sampel
1	N1	1	0,0025	0,02-0,04	0,08
2	N2	2	0,05	0,04-0,08	
3	N3	4	0,0	0,08-0,015	0,25
4	N4	8	0,2	0,15-0,3	
5	N5	16	0,4	0,3-0,6	
6	N6	32	0,8	0,6-1,2	
7	N7	63	1,6	1,2-2,4	
8	N8	125	3,2	2,4-4,8	0,8
9	N9	250	6,3	4,8-9,6	
10	N10	500	12,5	9,6-18,75	2,5
11	N11	1000	25,0	18,75-37,5	
12	N12	2000	50,0	37,5-75,0	8

Toleransi bentuk merupakan batas penyimpangan yang diizinkan dari 2 (dua) buah garis yang sejajar atau 2 (dua) buah bidang yang sejajar bila bidang itu tidak berbentuk sudut maka daerah toleransinya ialah batas yang diizinkan dari 2 (dua) buah bidang yang sejajar yang membentuk sudut terhadap bidang hasilnya. Toleransi harga kekasaran rata-rata Ra dari suatu permukaan tergantung pada proses pengerjaannya. Hasil penyelesaian permukaan dengan menggunakan mesin gerinda sudah tentu lebih halus dari pada dengan menggunakan mesin bubut. Tingkat kekasaran rata-rata permukaan menurut pengerjaannya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Tingkat Kekasaran Rata-rata Permukaan Menurut Proses Pengerjaannya (Rochim, T. 2001)

Proses Pengerjaan	Selang (N)	Harga (Ra)
Flat and cylindrical lapping	N1-N4	0.025-0.2
Superfinishing	N1-N6	0.025-0.8
Diamond turning	N5-N12	0.4-50.0
Flat and cylindrical turning, milling and reaming	N7-N10	1.6-12.5
Drilling	N6-N12	0.8-50.0
Shapping, Planning, Horizontal milling	N10-N11	12.5-25.0
Sandcasting and forging	N6-N8	0.8-3.2
Extruding, cold rollong, drawinf	N6-N7	0.8-1.6
Die Casting		

2.5 Alat

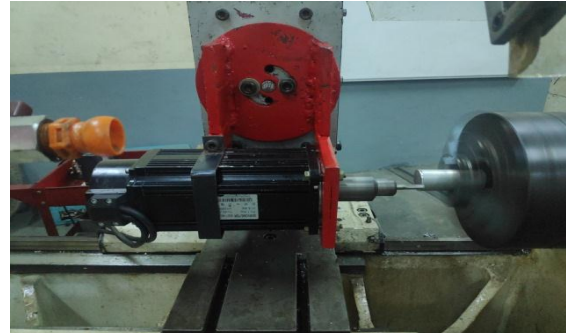
Dalam penelitian ini beberapa alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

A) Rotary tool

Pada awal pengembangannya *rotary tool* diberi gaya pada pahat potong putarnya. Keuntungan utama dari alat ini adalah desain yang sederhana dan fleksibilitas dan kerugian utamanya

adalah ketidakstabilan kecepatan potong dan kecepatan makan karena banyaknya variabel yang mempengaruhi dalam proses pengerjaan

Pada proses *co-axial turn-milling* menggunakan *rotary tool* yang telah dirancang oleh Tim perancang di Laborarium Teknologi Produksi Teknik Mesin Universitas Riau seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rotary tool

B) Surface roughness tester

Pada pengujian kekasaran permukaan yang dilakukan di Politeknik Kampar menggunakan alat *surface roughness tester* tipe Mitutoyo SJ-310 yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Surface roughness tester

2.5 Bahan

Penelitian ini menggunakan benda uji dengan bahan aluminium 6061 berbentuk poros yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Alumunium 6061

2.6 Parameter Pengujian

Penelitian ini dilakukan pengambilan data berupa angka kekasaran permukaan dari metode pemotongan *co-axial*, disini terdapat 2 (dua) jenis variasi yaitu kecepatan benda kerja dan kecepatan putaran *tool*. Adapun variasi putaran benda kerja

dan kecepatan putaran *tool* pada mesin *turn-milling* bisa dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Variasi kecepatan putaran *tool* dan kecepatan putaran benda kerja

No	Kecepatan Putaran Tool	Kecepatan Putaran Benda Kerja
1	1000	400
		560
		800
2	1500	400
		560
		800
3	2000	400
		560
		800
4	2500	400
		560
		800

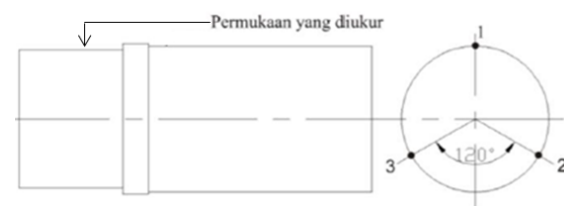
Pada metode pengambilan data ini, kecepatan putaran *tool* yang divariasikan yaitu 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, dan 2500 rpm. Kecepatan putaran ini digunakan untuk mengetahui pengaruh kecepatan putaran *tool high speed steel* (HSS) pada hasil kekasaran permukaan benda kerja. Sedangkan kecepatan putaran benda kerja yang divariasikan yaitu 400 rpm, 560 rpm, dan 800 rpm yang disesuaikan dengan spesifikasi benda kerja yang digunakan untuk penelitian. Benda kerja yang digunakan untuk penelitian ini yaitu aluminium 6061, dimana aluminium ini memiliki standar untuk menentukan kecepatan putaran benda kerja V_c (kecepatan potong) standar umum kecepatan potong [6]. Pada penelitian ini kecepatan potong untuk aluminium yang digunakan yaitu 36 m/min, 45 m/min, 70 m/min yang kemudian dikalkulasikan dengan diameter benda kerja 25 mm sehingga diperoleh kecepatan putaran mesin untuk kecepatan potong 36 m/min adalah 451,1 rpm, untuk kecepatan potong 45 m/min adalah 563,9 rpm, dan untuk kecepatan potong 70 m/min adalah 877,2 rpm. Jadi kecepatan putaran mesin yang dapat kemudian disesuaikan dengan kondisi mesin bubut yang digunakan, maka didapat kecepatan putaran benda kerja yang digunakan adalah 400 rpm, 560 rpm, dan 800 rpm.

Kecepatan pemakanan (*feeding*) yang digunakan untuk penelitian ini adalah 0,051 mm/rev, berdasarkan standar kecepatan pemakanan 0,05-0,15 mm/rev kemudian disesuaikan dengan mempertimbangkan kondisi mesin bubut. Kecepatan pemakanan ini juga mempunyai standar yang ditentukan oleh jenis pahat yang digunakan, pada penelitian ini digunakan mata pahat *endmill* dengan bahan HSS. Kondisi mesin bubut yang digunakan untuk pengujian mempunyai *range* kecepatan pemakanan yaitu 0,051, 0,055, 0,060, 0,69, 0,082, 0,086, 0,096, 0,103, 0,110, 0,120, dan

0,137 mm/rev. Karena keterbatasan tersebut maka dipilih *feeding rate* paling rendah berdasarkan mesin bubut yang digunakan, yaitu 0,051 mm/rev.

Pada penelitian ini kecepatan putaran *tool* yang digunakan diberi variasi sesuai dengan kemampuan motor servo yang dipakai. Disini kemampuan putar mesin servo mempunyai range 0–2500 rpm. Jadi penelitian ini mengambil 4 variasi kecepatan putaran *tool* yaitu 1000, 1500, 2000, 2500 rpm. Penelitian ini dilakukan menggunakan benda kerja dengan panjang 10 cm, diameter 1 in sebanyak 12 benda kerja yang dimana nantinya masing-masing benda kerja dilakukan proses *roughing* dengan parameter pemesinan yang berbeda pada setiap pengujiannya.

Langkah awal pengerjaan benda kerja yaitu membusut rata permukaan benda kerja, kemudian diambil 3 titik untuk pengujian menggunakan alat *roughness tester*. Skema titik-titik pengukuran dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema Titik Pengukuran

Adapun gambar sampel hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Sampel Hasil Aluminium 6061

3. Hasil

Hasil nilai kekasaran permukaan Aluminium 6061 proses *turn-milling* yang di dapat dengan variasi kecepatan putaran benda kerja 400 rpm, 560 rpm, dan 800 rpm dengan variasi kecepatan putaran *tool* 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, dan 2500 rpm.

3.1 Data Hasil Pengujian

Variabel putaran benda kerja dan putaran *tool* yang digunakan 3 x 4 sehingga didapat 12 sampel data hasil pengujian. Adapun nilai kekasaran permukaan yang didapat dari penelitian ini dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Kekasaran Permukaan dalam satuan (μm)

Kecepatan Putaran Tool (rpm)	Titik Pengukuran Spesimen	Kecepatan Putaran Benda Kerja (rpm)		
		400	560	800
1000	1	1,602	0,909	1,139
	2	1,315	1,156	0,996
	3	1,333	1,248	1,026
Rata-Rata Kekasaran		1,417	1,104	1,054
1500	1	1,216	0,829	1,106
	2	1,501	1,119	1,168
	3	1,158	1,302	0,943
Rata-Rata Kekasaran		1,292	1,083	1,072
2000	1	1,054	0,888	0,874
	2	0,956	0,956	1,020
	3	1,068	1,129	0,886
Rata-Rata Kekasaran		1,026	0,991	0,927
2500	1	0,884	0,791	0,763
	2	0,869	0,939	0,791
	3	0,980	0,982	1,033
Rata-Rata Kekasaran		0,911	0,904	0,862

3.2 Nilai Rata-rata Kekasaran Permukaan Berdasarkan Kelas Kekasaran

Kelas kekasaran permukaan aluminium 6061 sesuai standar dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kelas Kekasaran Permukaan Aluminium 6061 Proses Co-Axial Turn-Milling



Variasi Kecepatan Putaran Tool (rpm)	Variasi Kecepatan Putaran Benda Kerja (rpm)		
	400	560	800
1000	N7	N7	N6
1500	N7	N6	N6
2000	N6	N6	N6
2500	N6	N6	N6

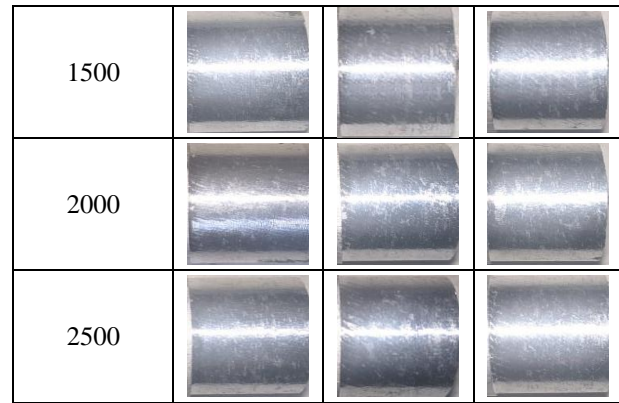
Semua nilai kekasaran permukaan yang didapat dari hasil pengukuran menggunakan alat *roughness tester* masuk kedalam toleransi kelas kekasaran N6 dan N7 sesuai dengan Tabel 1.

3.3 Hasil Permukaan Pengujian

Hasil profil dari setiap sampel dapat dilihat pada Tabel 6 Hasil permukaan dari proses *co-axial turn-milling*.

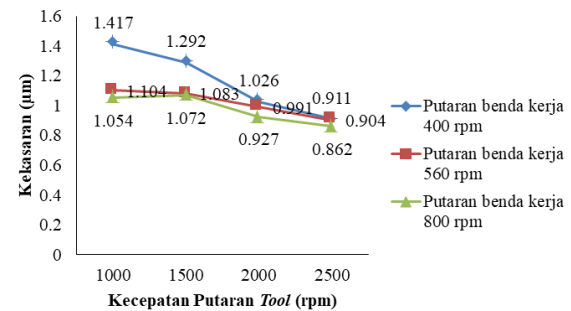
Tabel 6. Hasil Permukaan Dari Proses Co-Axial Turn-Milling

Variasi Kecepatan Putaran Tool (rpm)	Variasi Kecepatan Benda Kerja (rpm)		
	400	560	800
1000			



Pada penelitian ini profil kekasaran permukaan yang dihasilkan secara visual tampak sedikit bervariasi seperti pada Tabel 5 hal ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang saling berkaitan satu sama lain, di antaranya adalah kecepatan putaran *tool*, kecepatan putaran benda kerja, kecepatan pemakanan yang tidak konstan akibat getaran dari motor servo yang berputar dengan kecepatan tinggi, faktor kedalaman pemakanan yang dilakukan secara manual bisa saja terjadi kelebihan ataupun kekurangan kedalaman pemakanan yang diberikan, titik temu pemotongan.

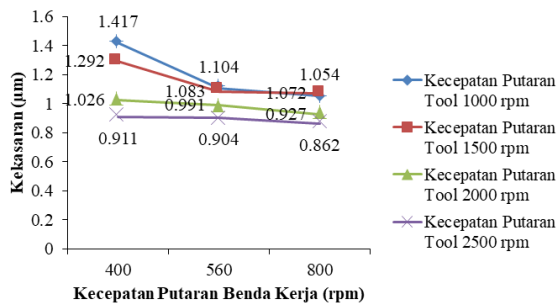
Hasil kekasaran permukaan yang diperoleh dari proses *co-axial turn-milling* dapat dimasukkan kedalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Hubungan Kecepatan Putaran Tool Dengan Kekasaran

Pada Gambar 8 yaitu grafik hubungan antara kecepatan putaran *tool* terhadap kekasaran permukaan, dapat dilihat bahwa nilai kekasaran paling kecil yaitu pada kecepatan putaran *tool* 2500 dengan nilai rata-rata Ra 0,862 μm , hal ini disebabkan oleh kecepatan putaran *tool* yang diterapkan merupakan kecepatan tertinggi yang dapat dioperasikan oleh motor servo yang digunakan pada pengujian ini sehingga titik temu pemotongan pada pengujian sampel kecepatan putaran *tool* 2500 rpm ini adalah yang tercepat diantara yang lain. Sedangkan nilai kekasaran permukaan terbesar didapat pada kecepatan putaran *tool* 1000 rpm dengan nilai rata-rata Ra 1,417 μm , hal ini bisa terjadi karena titik temu pemotongan pada pengujian sampel berlangsung lama diantara

pengujian yang lain. Tampak profil kekasaran permukaan yang cukup beragam pada penelitian ini bisa terjadi karena motor servo yang berputar pada kecepatan tinggi menghasilkan getaran yang kurang baik untuk proses pemotongan pada penelitian ini.



Gambar 9. Grafik Hubungan Kecepatan Putaran Benda Kerja Dengan Kekasaran

Untuk pembacaan pada Gambar 9 yaitu grafik hubungan kecepatan putaran benda kerja dengan kekasaran permukaan, dapat dilihat bahwa nilai kekasaran paling kecil yaitu pada kecepatan putaran benda kerja 800 rpm dengan nilai rata-rata Ra 0,862 μm , hal ini disebabkan oleh kecepatan putaran benda kerja yang diterapkan yaitu 800 rpm, sehingga titik temu pemotongan tercepat pada variasi kecepatan putaran benda kerja terjadi pada 800 rpm. Sedangkan nilai kekasaran paling besar yaitu pada kecepatan putaran benda kerja 400 rpm dengan nilai rata-rata Ra 1,417 μm , hal ini terjadi karena titik temu pemotongan lebih lama dari pada variasi kecepatan putaran benda kerja lainnya. Nilai kekasaran yang besar dan bentuk profil kekasaran permukaan pada pengujian yang beragam juga dapat dipengaruhi oleh motor servo yang berputar pada kecepatan tinggi sehingga menghasilkan getaran yang kurang baik untuk proses pemotongan pada penelitian.

Jika dilihat dari Gambar 8 grafik hubungan antara kecepatan *tool* dengan nilai kekasaran di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan putaran *tool* maka nilai kekasaran permukaannya akan semakin kecil dan dari Gambar 9 grafik hubungan antara kecepatan putaran benda kerja dengan nilai kekasaran dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan putaran benda kerja yang digunakan maka nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan akan semakin kecil. Tingkat kekasaran rata-rata permukaan pada penelitian ini untuk proses pengerjaan *flat*, *cylindrical turning*, *milling* dan *reaming* memiliki nilai kualitas (N) yaitu N7 dan N6 yang merupakan nilai yang sesuai berdasarkan Tabel 1.

3.4 Statistical Straight-Line Method

Merupakan salah satu metode yang digunakan untuk *forecasting* (peramalan) untuk memperkirakan beberapa kebutuhan di masa yang akan datang. Lusi Fajarita pada tahun 2018

mengatakan bahwa salah satu kategori *forecasting* adalah peramalan teknologi untuk memprediksi akan tingkat kemajuan teknologi. Pada tahap ini, penulis ingin melakukan *forecasting* untuk nilai kekasaran permukaan aluminium 6061 menggunakan metode *co-axial turn-milling* pada variasi kecepatan putaran *tool* 3000 rpm, 3500 rpm, 4000 rpm, dan 4500 rpm.

Menghitung *statistical straight-line method* nantinya akan menggunakan beberapa persamaan, yaitu

$$Yc = a + bx \dots \dots (1)$$

$$a = \frac{\sum y}{n} \dots \dots (2)$$

$$b = \frac{\sum xy}{\sum x^2} \dots \dots (3)$$

a. Statistical Straight-Line Method Pada Kecepatan Putaran Benda Kerja 400 rpm

Pada penelitian ini didapat 4 data awal, sehingga nantinya kita dapat memprediksikan 4 data untuk masa akan datang. Data awal kekasaran permukaan pada kecepatan putaran benda kerja 400 rpm dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Data Kekasaran Permukaan Awal Pada Putaran Benda Kerja 400 rpm

Kecepatan Putaran Tool	Kecepatan Putaran Benda Kerja	$\sum Ra$, Actual Values y
400	1000	1.417
	1500	1.292
	2000	1.026
	2500	0.911

Pembobotan dilakukan pada data awal kekasaran permukaan pada kecepatan putaran benda kerja 400 rpm, dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Pembobotan Pada Data

Kecepatan Putaran Tool	Kecepatan Putaran Benda Kerja	$\sum Ra$, actual Values y	x	x^2	xy
400	1000	1.417	-3	9	-4,251
	1500	1.292	-1	1	-1,292
	2000	1.026	1	1	1,026
	2500	0.911	3	9	2,733
\sum		4,646		20	-1,784

Diketahui :

$n = 4$ (jumlah yang akan diramalkan)

Hitung nilai a berdasarkan rumus 2:

$$a = \frac{\sum y}{n} = \frac{4,646}{4} = 1,1615$$

Hitung nilai b berdasarkan rumus 3:

$$b = \frac{\sum xy}{\sum x^2} = \frac{-1,784}{20} = -0,0892$$

Masukkan ke persamaan 1:

$$Y_c = 1,1615 - 0,0892x$$

Nilai *forecasting* berdasarkan Y_c yang di dapat, yaitu:

a. $Y_{3000} = 1,1615 - 0,0892(5) = 0,716$

b. $Y_{3500} = 1,1615 - 0,0892(7) = 0,537$

c. $Y_{4000} = 1,1615 - 0,0892(9) = 0,359$

d. $Y_{4500} = 1,1615 - 0,0892(11) = 0,1$

Hasil perhitungan dimasukkan ke dalam bentuk Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Perhitungan *Forecasting* Pada Kecepatan Putaran Benda Kerja 400 rpm Untuk Kecepatan Putaran Benda Kerja 3000 rpm, 3500 rpm, 4000 rpm dan 4500 rpm

Kecepatan Putaran Tool (rpm)	Kecepatan Putaran Benda Kerja (rpm)	$\sum Ra$
400	3000	0,716
	3500	0,537
	4000	0,359
	4500	0,180

b. Statistical Straight-Line Method Pada Kecepatan Putaran Benda Kerja 560 rpm

Pada penelitian ini didapat 4 data awal, sehingga nantinya kita dapat memprediksikan 4 data untuk masa akan datang. Data awal kekasaran permukaan pada kecepatan putaran benda kerja 560 rpm dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Data Kekasaran Permukaan Awal Pada Putaran Benda Kerja 560 rpm

Kecepatan Putaran Tool	Kecepatan Putaran Benda Kerja	$\sum Ra$, Actual Falues y
560	1000	1,104
	1500	1,083
	2000	0,991
	2500	0,904

Pembobotan dilakukan pada data awal kekasaran permukaan pada kecepatan putaran benda kerja 560 rpm, dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Pembobotan Pada Data

Kecepatan Putaran Tool	Kecepatan Putaran Benda Kerja	$\sum Ra$, Actual Falues y	x	x^2	xy
400	1000	1,104	-3	9	-3,312
	1500	1,083	-1	1	-1,083
	2000	0,991	1	1	0,991
	2500	0,904	3	9	2,712
\sum		4,646		20	-0,692

Diketahui :

$n = 4$ (jumlah yang akan diramalkan)

Hitung nilai a berdasarkan rumus 2:

$$a = \frac{\sum y}{n} = \frac{4,082}{4} = 1,0205$$

Hitung nilai b berdasarkan rumus 3:

$$b = \frac{\sum xy}{\sum x^2} = \frac{-0,692}{20} = -0,0346$$

Masukkan ke persamaan 1:

$$Y_c = 1,0205 - 0,0346x$$

Nilai *forecasting* berdasarkan Y_c yang di dapat, yaitu:

a. $Y_{3000} = 1,0205 - 0,0346(5) = 0,848$

b. $Y_{3500} = 1,0205 - 0,0346(7) = 0,778$

c. $Y_{4000} = 1,0205 - 0,0346(9) = 0,709$

d. $Y_{4500} = 1,0205 - 0,0346(11) = 0,640$

Hasil perhitungan dimasukkan ke dalam bentuk Tabel 12.

Tabel 12. Hasil Perhitungan *Forecasting* Pada Kecepatan Putaran Benda Kerja 560 rpm Untuk Kecepatan Putaran Benda Kerja 3000 rpm, 3500 rpm, 4000 rpm dan 4500 rpm

Kecepatan Putaran Tool (rpm)	Kecepatan Putaran Benda Kerja (rpm)	$\sum Ra$
560	3000	0,848
	3500	0,778
	4000	0,709
	4500	0,640

c. **Statistical Straight-Line Method Pada Kecepatan Putaran Benda Kerja 800 rpm**

Pada penelitian ini didapat 4 data awal, sehingga nantinya kita dapat memprediksikan 4 data untuk masa akan datang. Data awal kekasaran permukaan pada kecepatan putaran benda kerja 800 rpm dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Data kekasaran permukaan awal pada putaran benda kerja 800 rpm

Kecepatan Putaran Tool	Kecepatan Putaran Benda Kerja	$\sum Ra$, Actual Values y
800	1000	1,054
	1500	1,072
	2000	0,927
	2500	0,862

Pembobotan dilakukan pada data awal kekasaran permukaan pada kecepatan putaran benda kerja 800 rpm, dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Pembobotan Pada Data

Kecepatan Putaran Tool	Kecepatan Putaran Benda Kerja	$\sum Ra$, Actual Values y	x	x^2	xy
800	1000	1,054	3	9	-
	1500	1,072	1	1	1,072
	2000	0,927	1	1	0,927
	2500	0,862	3	9	2,586
\sum		3,915		20	-
					0,721

Diketahui :

$n = 4$ (jumlah yang akan diramalkan)

Hitung nilai a berdasarkan rumus 2:

$$a = \frac{\sum y}{n} = \frac{3,915}{4} = 0,97875$$

Hitung nilai b berdasarkan rumus 3:

$$b = \frac{\sum xy}{\sum x^2} = \frac{-721}{20} = -0,03605$$

Masukkan ke persamaan 1:

$$Y_c = 0,97875 - 0,03605x$$

Nilai *forecasting* berdasarkan Y_c yang di dapat, yaitu:

a. $Y_{3000} = 0,97875 - 0,03605(5) = 0,799$

b. $Y_{3500} = 0,97875 - 0,03605(7) = 0,726$

c. $Y_{4000} = 0,97875 - 0,03605(9) = 0,654$

d. $Y_{4500} = 0,97875 - 0,03605(11) = 0,582$

Hasil perhitungan dimasukkan ke dalam bentuk Tabel 15.

Tabel 15. Hasil Perhitungan *Forecasting* Pada Kecepatan Putaran Benda Kerja 560 rpm

Kecepatan Putaran Tool (rpm)	Kecepatan Putaran Benda Kerja (rpm)	$\sum Ra$
860	3000	0,799
	3500	0,726
	4000	0,654
	4500	0,582

4. Simpulan

Bedasarkan hasil pembahasan untuk variasi kecepatan putaran *tool* dan kecepatan putaran benda kerja terhadap hasil kekasaran permukaan proses *co-axial turn-milling* adalah sebagai berikut:

- 1) Nilai kekasaran permukaan terbaik pada penelitian ini berdasarkan hasil pengukuran menggunakan alat *roughness tester* didapat pada variasi kecepatan putaran *tool* 2500 rpm dan kecepatan putaran benda kerja 800 rpm dengan nilai rata-rata Ra 0,862 μm dan berada di kelas kekasaran N6.
- 2) Pada *statistical straight-line method* didapat nilai kekasaran pada variasi kecepatan putaran *tool* yang lebih tinggi menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang relatif lebih rendah. Nilai paling rendah didapat pada nilai Ra 0,181 μm dan berada di kelas kekasaran N4.

Daftar Pustaka

- [1] Yohanes. Roki, H. Gusmardani, J. Dan Evon, Y. 2017. *Development Of Turn-Miling In Conventional Lathe Machine. Journal Of Ocean, Mechanical and Aerospace –Science And Engineering-* (JOMase). 53:2-4
- [2] Rochim, T. 2001. *Spesifikasi Metrologi dan Kontrol Kualitas Geometrik*. Bandung : ITB.
- [3] H. Schulz, and G. Spur. 1990. High Speed Turn-Milling—A New Precision Manufacturing Technology For The Machining Of Rotationally Symmetrical Workpieces. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*. 39.1 (1990) 107-109

- [4] Choudhury, S.K. dan Bajpai, J. B. 2005. Investigation In Orthogonal Turn-Milling Towards Better Surface Finish. *Journal of Materials Processing Technology* 170 (2005): 487-493.
- [5] Harun, S., T. Shibasaka, and T. Moriwaki. Cutting Temperature Measurement in Turning with Actively Driven Rotary Tool. *Key Engineering Materials*. Vols. 389-390 (2009) pp 138-143.
- [6] Tarmawan, 1999. *Buku Panduan Operator Machining Departement Of Training*. Kendal : PT Texmaco Perkasa Engineering Kaliwungu.