

**ANALISIS PENGARUH PARAMETER PEMESINAN, METODE PENYAYATAN
DAN MATERIAL PISAU FRAIS TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN
ALUMINIUM 6061 PADA PROSES END MILLING SURFACES FINISH**

**THE INFLUENCE OF MACHINING PARAMETERS, CUTTING METHOD, MILLING
CUTTER MATERIALS ON SURFACE ROUGHNESS OF ALUMINUM 6061 ON
PROCESS END MILLING SURFACES FINISH**

Rilgy Aulia⁽¹⁾, Yufrizal A⁽²⁾, Zainal Abadi⁽³⁾, Delima Yanti Sari⁽⁴⁾

^{(1), (2), (3), (4)}Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Kampus Air Tawar, Padang 25131, Indonesia

rilgy02@gmail.com

yufrizal@ft.unp.ac.id

zainalabadi@ft.unp.ac.id

delimayanti@ft.unp.ac.id

Abstrak

Kekasaran permukaan merupakan faktor penting untuk menghasilkan produk yang berkualitas. Penggunaan mesin *Milling* tidak luput dari proses produksi di industri manufaktur. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan Aluminium 6061 pada proses *Finishing*. Uji Anova lebih tepat untuk menguji pengaruh faktor tersebut. Faktor yang dipertimbangkan yaitu parameter pemesinan seperti *Feed Rate* 300 mm/menit, 500 mm/menit dan 700 mm/menit, *Spindle Speed* 2500 rpm, 3000 rpm dan 3500 rpm, *Depth of Cut* 0,2 mm dan 0,4 mm, Metode Penyayatan *Down Cut* dan *Up Cut* dengan 2 variasi material *cutter* yaitu Hss dan *Carbide*. Setelah dilakukan pengujian kekasaran permukaan terhadap semua spesimen diperoleh nilai kekasaran permukaan terendah 0,57 μm dikategorikan kelas kekasaran N5 pada penggunaan *Feed Rate* 300 mm/menit, *Spindle Speed* 3500 rpm dan *Depth of Cut* 0,4 mm dengan metode penyayatan *Up Cut* pada *cutter* material *Carbide* dan nilai kekasaran permukaan tertinggi 3,97 μm dikategorikan kelas kekasaran N8 pada penggunaan *Feed Rate* 700 mm/menit, *Spindle Speed* 2500 rpm dan *Depth of Cut* 0,4 mm menggunakan metode penyayatan *Up Cut* pada *cutter* material Hss. Setelah dilakukan analisis disimpulkan bahwa faktor dengan penyumbang presentasi terbesar hingga terkecil yaitu *Feed Rate* di urutan pertama dengan kontribusi faktor 26,52 %, *Material Cutter* 25,99 %, *Spindle Speed* 9,26 %, *Depth of Cut* 7,95 %, Metode Penyayatan 0,42 % dan faktor *error* 26,52 %. Faktor *error* ialah faktor yang tidak diperhitungkan dalam penelitian ini.

Kata Kunci : Mesin *Milling*, Parameter Pemesinan, Material *Cutter*, Kekasaran Permukaan, Metode Taguchi

Abstract

Surface roughness is an important factor to produce products with good quality. The use of milling machines is inseparable from the production process in the manufacturing industry. The purpose of this study was to determine the most significant factor influencing the surface roughness of Aluminum 6061. Anova test is more appropriate to test the influence of these factors. Factors considered are machining parameters such as Feed Rate 300, 500 and 700 mm/minute, Spindle Speed 2500 rpm, 3000 rpm and 3500 rpm, Depth of Cut 0.2 mm and 0.4 mm, Down Cut and Up Cut cutting methods with 2 variations of cutter material are Hss and Carbide. After testing the surface roughness on all specimens, the lowest surface roughness value is 0.57 μm at the use of Feed Rate 300 mm/minute, Spindle Speed 3500 rpm and Depth of Cut 0.4 mm with the Up cut cutting method on the Carbide material cutter and the highest surface roughness value is 3.97 μm using a Feed Rate of 700 mm/minute, Spindle Speed of 2500 rpm and a Depth of Cut of 0.4 mm using the Up Cut method on the Hss material cutter. After the analysis, it was concluded that the factor contributing to the largest to smallest presentation was Feed Rate in the first place with a factor contribution of 26.52 %, Material Cutter 25.99 %, Spindle Speed 9.26 %, Depth of Cut 7.95 %, Cutting Method 0.42 % and an error factor of 26.52 %, the error factor is an influential factor that is not considered in this study.

Keywords : Milling Machine, Machining Parameters, Materials Cutter, Surface Roughness, Taguchi Method

I. Pendahuluan

Perkembangan pada sektor industri khususnya industri manufaktur yang ada di Indonesia pada saat ini mengalami perkembangan yang begitu pesat, manufaktur itu merupakan industri yang berkaitan dengan penggunaan mesin, peralatan-peralatan, dan tenaga kerja untuk memproduksi barang dari bahan baku mentah menjadi bahan jadi (Saragih, 2018). Sejalan dengan perkembangan industri manufaktur ini produk yang dihasilkan dituntut memiliki kualitas yang dapat memenuhi standar yang diberlakukan dipasaran nasional maupun internasional (Saibah, et al, 2020). Untuk memenuhi standar tersebut diperlukan langkah proses pemesinan yang baik agar dapat diperoleh produk yang berkualitas untuk dapat bersaing dipasar global (Satya, 2018).

Proses pemesinan merupakan sebuah proses di industri manufaktur untuk membuat sebuah produk yang sesuai dengan bentuk dan kualitas yang diinginkan (Ibrahim, 2013). Ada banyak faktor yang harus dipertimbangkan dalam proses pemesinan yang sangat kompleks ini agar diperoleh produk yang berkualitas (Mosey et al., 2013). hampir 70% dari total proses produksi yang ada di industri manufaktur menggunakan proses pemesinan (Syaputra, 2022). Proses pengerjaan pengefraisan dengan mesin perkakas frais ialah salah satu proses pemesinan yang sering digunakan untuk memproduksi sebuah produk atau dapat dikatakan memiliki kontribusi dalam terciptanya sebuah produk (Fasesa et al., 2018).

Proses frais itu merupakan sebuah proses dimana sebuah benda dibentuk dengan cara terlepasnya material logam dari sebuah objek oleh gerakan alat potong/*cutter* yang sedang berputar, pada mesin ini dapat melakukan pekerjaan seperti membuat roda gigi, membuat alur, ulir dalam, pengefraisan rata datar, pengefraisan miring, pengefraisan cekung/cembung, pengerjaan permukaan bersiku, bersudut dan memotong benda kerja (Sulaiman & Mas'ud, 2020). Prinsip kerja pada proses frais/*milling* yaitu pemotongan benda kerja dengan *cutter* bermata majemuk untuk melakukan proses penyayatan yang dapat menghasilkan sejumlah geram/*chip* (Romiyadi, 2016). Kemudian benda kerja dipasang pada meja mesin dengan alat bantu pengikat benda kerja yaitu ragam datar dan *cutter* dipasang pada arbor mesin dengan alat bantu *collet chuck*, setelah itu dilakukan proses penyayatan baik dengan metode *Up cut* ataupun *Down cut*. Proses penyayatan terjadi ketika benda kerja didekatkan ke *cutter* dengan cara menaikkan meja mesin, menurunkan spindle mesin dan pergerakan meja mesin secara memanjang dan melintang sewaktu *cutter* berputar.

Proses pengerjaan dengan mesin frais tidak akan luput dari perhitungan parameter pemesinan seperti perhitungan *Cutting Speed, Spindle Speed, Feed Rate*

dan *Depth of Cut*, perhitungan tersebut akan menentukan kualitas benda kerja yang dihasilkan pada proses pengerjaan *finishing*. (Setiawan et al., 2022). Kemudian faktor yang sering diabaikan oleh seorang operator mesin frais ketika bekerja ialah penggunaan metode penyayatan yang keliru dan pemilihan pisau frais yang kurang sesuai terhadap material benda kerja yang akan dikerjakan (Romiyadi & Azriadi, 2013).

Kekasaran permukaan sangat berpengaruh terhadap suatu rangkaian komponen mesin terlebih yang berkaitan dengan suaian, karena sebuah produk pemesinan yang berkaitan dengan suaian dan memiliki kelas kekasaran permukaan yang tinggi dapat menyebabkan proses keausan yang cepat, sehingga efisiensi kerja dari komponen tersebut menjadi menurun dan tidak efektif (Indrawan et al., 2020). Dalam pengerjaan dengan mesin frais ketika benda kerja yang dihasilkan memiliki nilai kekasaran permukaan yang rendah dapat dikatakan pengerjaannya sudah efektif dan produk yang dihasilkan tentunya berkualitas (Yufrizal et al., 2022). Berkualitas atau tidaknya sebuah benda kerja dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor tersebut. Sehingga benda kerja yang berkualitas itu dapat diketahui dari kelas kekasaran permukaan yang diperoleh (Novrialdy et al., 2021).

Salah satu cara untuk menghasilkan benda kerja dengan kelas kekasaran yang rendah adalah dengan melakukan proses *finishing* (Syam, A. R. et al., 2021). Proses *finishing* yang sering dilakukan ketika bekerja dengan mesin frais adalah *end milling surface finish*, proses *finishing* ini menggunakan pisau frais *endmill* (Wibowo, 2016). Proses ini tentunya harus dilakukan perhitungan parameter pemesinan yang sesuai dan penggunaan metode penyayatan serta material *cutter* yang tepat sesuai dengan benda kerja yang dikerjakan. Proses *finishing* ini dapat digunakan sebagai penentu kualitas benda kerja dengan harapan proses *finishing* menghasilkan benda kerja dengan kelas kekasaran permukaan yang ideal (Widiantoro, A. W et al., 2017).

Fakta yang sering terjadi dilapangan perhitungan parameter proses pemesinan frais ini kurang diperhatikan, biasanya seorang operator hanya memperkirakan saja faktor parameter pemesinan ini tanpa melakukan perhitungan terlebih dahulu (Abbas, H et al., 2013). Faktor metode penyayatan sewaktu penyayatan benda kerja juga tidak diperhatikan operator dan penggunaan pisau frais yang tidak tepat. Semua faktor tersebut sangat mempengaruhi tingkat kekasaran permukaan benda kerja (Hadi et al., 2013). Aluminium 6061 merupakan material yang sering digunakan di industri manufaktur, karena Aluminium 6061 ini memiliki bobot yang ringan dan kuat, mudah dibentuk, tahan korosi, dan memiliki daya konduktivitas yang terbilang tinggi (Tsamroh et al.,

2020). Aluminium 6061 ini memiliki komposisi terbesar dari paduan Magnesium (Mg) dan Silika (Si), dan sedikit paduan lainnya (Christy et al., 2010). Kekasaran permukaan benda kerja Aluminium 6061 ini akan diukur dengan bantuan alat *Surface Roughness Tester* merek Mitutoyo SJ-201 P.

Faktor-faktor yang ditentukan dalam penelitian ini adalah Parameter Pemesinan, Metode Penyayatan dan Material Pisau Frais. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor mana yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan benda kerja Aluminium 6061.

II. Metode Penelitian

A. Jenis Penelitian

Metode penelitian yang digunakan ialah metode eksperimen. Metode ini dianggap paling tepat untuk mengetahui sebab-akibat dari hipotesis yang sifatnya analitik dan proses pengumpulan data yang dilakukan sesuai dengan kenyataan pada saat pengujian, sehingga data yang akan dianalisa bersifat faktual/objektif yang sudah dinyatakan valid. Uji Anova digunakan untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan Aluminium 6061.

B. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2022 dan proses pembuatan spesimen dilakukan di *workshop* pemesinan FT-UNP, setelah itu dilakukan pengujian kelas kekasaran permukaan spesimen di Laboratorium Metrologi & Metalurgi Teknik Mesin FT-UNP.

C. Objek Penelitian

Proses penelitian ini memerlukan beberapa alat dan bahan agar dapat terlaksana, seperti penggunaan mesin frais, alat uji kekasaran, *cutter endmill*, alat ukur seperti *vernier caliper*, mistar dan bahan Aluminium 6061. Adapun penjelasan lengkapnya sebagai berikut :

1. Mesin Frais Vertikal KENT-USA

Mesin *Milling/frais* ialah mesin perkakas yang berguna untuk membentuk benda kerja sehingga berbentuk sedemikian rupa dengan pisau frais/*cutter* sebagai alat potong yang digunakan dalam proses penyayatan. Proses penyayatan terjadi apabila benda kerja dipasang di ragum datar atau alat pengikat lainnya dan pisau frais di pasang di arbor mesin. Penyayatan dilakukan dengan cara menggerakkan meja mesin secara memanjang, melintang serta menaikan meja mesin. Pada penelitian agar proses pembuatan spesimen berjalan dengan lancar diperlukan beberapa alat pendukung seperti *dial indicator*, paralel bar, sigmat/*vernier caliper* untuk

melakukan pengukuran, palu karet, perlengkapan *arbor* mesin frais dan *collet endmill* satu set.



Gambar 2.1. Mesin Frais Kent USA

2. Pisau Frais *Endmill*

Endmill merupakan alat potong yang memiliki bentuk solid dengan sisi dan ganggang yang menyatu. *Endmill* dapat digunakan untuk pengefraisan muka, pengefraisan *vertikal*, *horizontal*, menyudut atau melingkar.



Gambar 2.2. Cutter *Endmill* Hss & Carbide

3. Alat Uji Kekasaran Permukaan Mitutoyo SJ-201 P

Surface Roughness Tester merupakan sebuah alat yang digunakan untuk menguji tingkat kekasaran suatu permukaan. Jika dilihat dari setiap permukaan suatu komponen benda kerja, jelas mempunyai variasi dan bentuk struktur yang berbeda. Alat uji kekasaran permukaan ini dapat menentukan nilai Ra (*Roughness Average*) dari benda kerja yang struktur permukaannya berbeda tersebut, setelah nilai Ra diperoleh baru bisa ditentukan kelas kekasaran permukaannya. Untuk pengujian kekasaran pada spesimen yang akan dilakukan pengujian sebaiknya pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pada titik pengujian yang berbeda. Supaya data kekasaran permukaan yang didapat lebih akurat agar pada saat

analisis data faktor *error* yang diperoleh lebih sedikit.



Gambar 2.3. Alat Uji Kekasaran Permukaan Mitutoyo SJ-201P

4. Aluminium 6061

Penelitian ini menggunakan bahan dengan material Aluminium 6061 untuk pembuatan spesimen yang telah dirancang, alasan memilih bahan ini karena aplikasinya yang cukup luas seperti diaplikasikan untuk komponen otomotif, *electrical*, konstruksi alat berat dan komponen yang diharuskan tahan terhadap korosi dan selain itu bahan Aluminium 6061 juga memiliki kemampuan *Machine Ability* yang baik sehingga mudah dibentuk dengan berbagai macam proses pemesinan.



Gambar 2.4. Bahan Material Aluminium 6061

D. Perencanaan Penelitian

1. Penentuan Karakteristik Kualitas

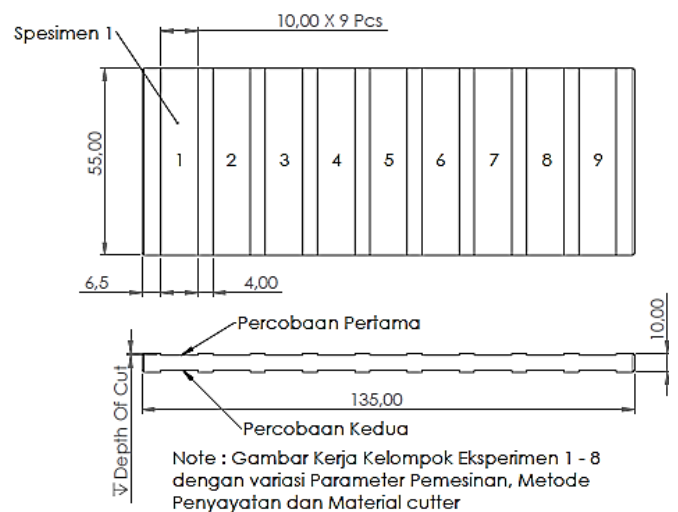
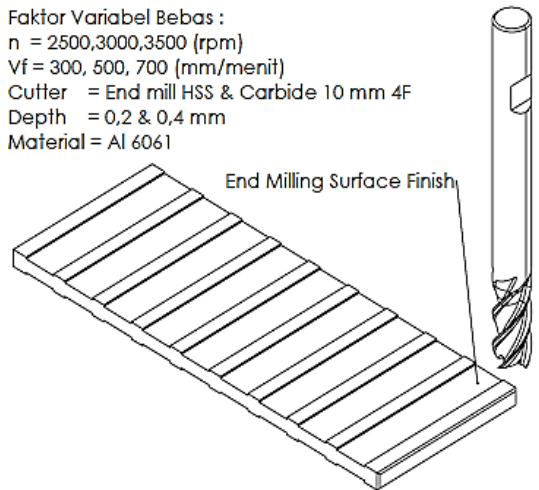
Penelitian ini berfokus mencari nilai kekasaran permukaan yang rendah. Nilai Ra yang rendah berguna untuk menentukan karakteristik permukaan terhadap kualitas permukaan dari pengerjaan spesimen, Karakteristik *Smaller the Better* lebih tepat digunakan untuk mencari nilai Ra yang rendah tersebut, dalam artian semakin kecil nilai kekasaran permukaan hasil pengujian maka akan semakin baik.

2. Desain Spesimen Uji

Penelitian ini menggunakan Aluminium Alloy 6061 dengan dimensi ukuran panjang 135 mm, lebar 55 mm dan tebal 10 mm. Terdapat 8 kelompok eksperimen yang akan dikerjakan dengan diberikan perlakuan variasi Parameter Pemesinan, variasi Metode Penyayatan *Down Cut* dan *Up cut* serta 2

variasi *cutter* yang digunakan yaitu *cutter* dengan material *Carbide* dan Hss.

Faktor Variabel Bebas :
 n = 2500,3000,3500 (rpm)
 Vf = 300, 500, 700 (mm/menit)
 Cutter = End mill HSS & Carbide 10 mm 4F
 Depth = 0,2 & 0,4 mm
 Material = Al 6061



Gambar 2.5. Desain Eksperimen

3. Penentuan Faktor Penelitian

Faktor yang akan diuji dalam penelitian ini ialah Parameter Pemesinan yang meliputi *Feed rate*, *Spindle speed*, *Depth of cut*, Metode Penyayatan dan Material *Cutter* sebagai faktor variabel *independent*, kemudian faktor variabel *dependent* adalah Nilai kekasaran permukaan benda kerja Alumunium 6061. Adapun faktor dan level yang digunakan dalam penelitian ini untuk dilakukan proses pembuatan spesimen sebagai berikut :

Tabel 2.1. Penentuan Faktor Penelitian

Material Cutter	Metode Penyayatan	Depth (mm)	n (rpm)	Vf (mm/ min)
Hss & Carbide	Up cut & Down Cut	0,2 & 0,4	2500	300
			3000	500
			3500	700

4. Analisa Data

Proses analisa data pada penelitian ini dibantu dengan *Software Statistic Minitab 18* untuk menganalisa faktor dan level yang telah ditentukan, untuk mengetahui seberapa besar pengaruh faktor dan level tersebut terhadap keseluruhan nilai kekasaran permukaan pada pengerjaan seluruh kelompok eksperimen dengan perhitungan *Analysis of Variance for Means (Anova)* dan *Response Table for Means*. Uji Anova lebih cocok digunakan untuk melihat kontribusi faktor dan level yang telah ditentukan seperti faktor parameter pemesinan, metode penyayat dan material *cutter*. Penelitian ini diharapkan faktor dan level tersebut dapat mempengaruhi nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan. Kemudian dapat ditentukan *setting* level dan faktor terbaik untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan yang paling minimal pada benda kerja bahan Aluminium 6061.

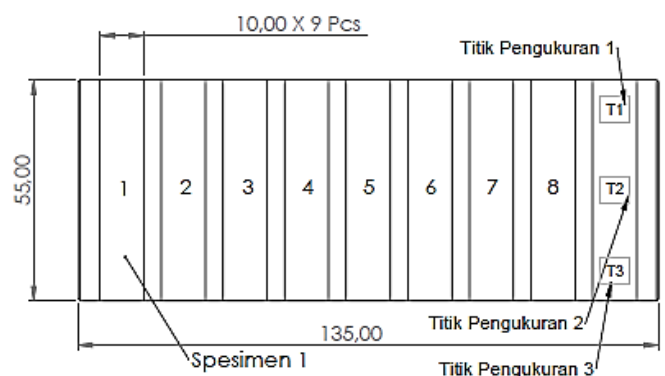
E. Prosedur Penelitian

Adapun tahapan untuk pembuatan spesimen pada bahan Aluminium 6061 diantaranya sebagai berikut :

1. Siapkan bahan Aluminium 6061 yang akan dipotong dan gambar kerja sebagai panduan sewaktu bekerja.
2. Potong bahan yang akan dikerjakan menggunakan mesin gergaji.
3. Potong bahan dengan ukuran panjang 135 mm dan lebar 55 mm, total terdapat 8 bahan yang akan dikerjakan untuk pembuatan setiap kelompok eksperimen.
4. Usahakan ukuran pada waktu pemotongan bahan dilebihkan dari ukuran aslinya agar nanti bisa dirapikan atau disesuaikan dengan ukuran aslinya pada saat dikerjakan pada mesin *Milling*.
5. Persiapkan bahan yang telah dipotong pada mesin gergaji.
6. Setelah itu pasang benda kerja pada ragum datar mesin dengan bantuan parallel bar sebagai landasan bahan benda kerja atau bisa dengan alat penompang lainnya.
7. Pasang *cutter endmill* pada arbor mesin, kemudian sesuaikan ukuran benda kerja sesuai dengan ukuran rencana penelitian yang telah tertera dalam gambar kerja.
8. Hilangkan bagian tajam benda kerja dengan *endmill chamfer / kikir*.
9. Bahan siap untuk dilakukan proses pengerjaan *facing* sebelum dilakukan proses pengerjaan *finishing* untuk setiap kelompok eksperimen.
10. Pasang kembali benda kerja pada ragum datar mesin dengan bantuan parallel bar.
11. Uji kerataan permukaan benda dengan bantuan alat *dial indicator*.
12. Pasang *endmill* \varnothing 10 mm pada arbor mesin dengan bantuan alat pengikat *collet*.

13. Lakukan hal yang sama pada setiap pengerjaan kelompok eksperimen berikutnya dengan diawali dengan pengerjaan *facing* agar permukaan benda menjadi rata dan siap untuk dilakukan pengerjaan spesimen.
14. Proses pembuatan setiap kelompok eksperimen diawali dari spesimen yang pertama hingga spesimen terakhir.
15. Lakukan proses penyataan *finishing* dengan variasi Parameter Pemesinan, Metode Penyayat dan Material *cutter* yang digunakan, proses pengerjaan dilakukan sesuai dengan gambar kerja penelitian dan aturan perhitungan dari setiap kelompok eksperimen.
16. Setiap pengerjaan spesimen menggunakan cairan pendingin *coolant*.
17. Untuk pergerakan meja mesin sewaktu menyayat menggunakan *power feed rate* otomatis agar pergerakan meja konstan.
18. Setelah semua pengerjaan kelompok eksperimen selesai, bersihkan mesin dari sisa geram pemotongan kemudian dilanjutkan dengan proses pengukuran nilai kekasaran Ra untuk setiap kelompok eksperimen. Untuk setiap spesimen dilakukan 3 kali proses pengukuran kekasaran pada 3 titik yang berbeda.

F. Pengukuran Kekasaran Permukaan



Gambar 2.6. Titik Pengukuran Kekasaran Permukaan

Proses pengukuran spesimen dilakukan di Laboratorium Metrologi & Metalurgi Teknik Mesin FT-UNP, menggunakan alat uji kekasaran permukaan merek Mitutoyo SJ-201 P. Tujuan pengukuran nilai kekasaran permukaan pada semua kelompok eksperimen ialah untuk mengetahui nilai Ra dari setiap spesimen, setelah itu bisa ditentukan faktor dan level mana yang paling berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja Aluminium 6061. Adapun proses pengukuran kekasaran permukaan diantaranya sebagai berikut :

1. Persiapkan keseluruhan kelompok eksperimen yang akan dilakukan pengujian kekasaran permukaan.

2. Persiapkan alat bantu dan unit alat ukur kekasaran permukaan.
3. Hidupkan alat ukur kekasaran permukaan dengan menekan tombol *Power*.
4. Pasang sensor pada unit dan lakukan proses kalibrasi unit alat ukur kekasaran permukaan sebelum dilakukan pengukuran spesimen..



Gambar 2.7. Kalibrasi alat ukur

5. Proses pengukuran spesimen dilakukan dengan cara menempelkan sensor pada permukaan yang akan diukur dan tekan tombol *power*; tunggu hingga nilai Ra muncul.
6. Pengukuran dilakukan di 3 titik, T1, T2 dan T3.
7. Proses pengukuran kekasaran permukaan spesimen pada titik pertama.



Gambar 2.8. Pengukuran Nilai Ra pada Titik T1

8. Proses pengukuran kekasaran permukaan spesimen pada titik kedua.



Gambar 2.9. Pengukuran Nilai Ra pada Titik T2

9. Proses pengukuran kekasaran permukaan spesimen pada titik ketiga



Gambar 2.10. Pengukuran Nilai Ra pada Titik T3

III. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil

Data Hasil pengujian kekasaran permukaan bahan Aluminium 6061 pada seluruh kelompok eksperimen menggunakan alat uji kekasaran permukaan Mitutoyo SJ-201 P. adapun data nilai kekasaran permukaan untuk setiap kelompok eksperimen dapat dilihat dari Tabel 3.1. Data hasil pengujian kekasaran permukaan untuk semua kelompok eksperimen

Tabel 3.1. Data Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan Semua Kelompok Eksperimen

Spes	Metode Penyayatan	Feed rate	Spindle Speed	Depth of cut	Kelompok Eksperimen 1`						Rata-rata (μm)	Kelas Kekasaran
					Nilai Kekasaran (Ra)							
					Percobaan Pertama			Percobaan Kedua				
					T1	T2	T3	T1	T2	T3		
1			2500	0,2	1,9	1,71	1,83	1,42	1,4	1,4	1,61	N7
2		300	3000	0,2	2,16	1,89	2,07	1,72	1,63	1,63	1,85	N7
3			3500	0,2	1,73	1,94	1,98	1,77	1,73	1,69	1,81	N7
4	<i>Hss /</i>		2500	0,2	1,72	1,84	1,68	1,93	1,71	1,73	1,77	N7
5	<i>Down Cut</i>	500	3000	0,2	1,39	1,35	1,5	1,24	1,3	1,29	1,35	N7
6	<i>Milling</i>		3500	0,2	1,49	1,52	1,43	1,28	1,19	1,28	1,37	N7
7			2500	0,2	3,42	3,38	3,42	3,44	3,43	3,54	3,44	N8
8		700	3000	0,2	2,21	2,31	2,05	2,02	2,62	2,59	2,30	N7
9			3500	0,2	1,75	1,72	1,66	1,6	1,67	1,61	1,67	N7

Kelompok Eksperimen 2												
1			2500	0,2	2,84	3,65	3	0,99	1,04	0,98	2,08	N7
2		300	3000	0,2	3,28	3,03	3,13	1,16	0,95	1,13	2,11	N7
3			3500	0,2	3,03	3,1	3,16	1,02	0,95	0,99	2,04	N7
4	<i>Hss /</i>		2500	0,2	2,74	2,49	2,56	2,1	2,12	2,09	2,35	N7
5	<i>Up Cut</i>	500	3000	0,2	2,6	2,79	2,34	1,34	1,13	1,19	1,90	N7
6	<i>Milling</i>		3500	0,2	1,99	1,92	2,07	0,95	0,85	1,01	1,47	N7
7			2500	0,2	3,72	3,8	3,93	3,98	3,89	3,84	3,86	N8
8		700	3000	0,2	3,16	3,11	2,98	2,61	2,61	2,64	2,85	N8
9			3500	0,2	2,96	3,17	2,67	2,07	2,04	1,88	2,47	N8
Kelompok Eksperimen 3												
1			2500	0,4	0,83	0,95	0,85	0,9	0,86	0,83	0,87	N6
2		300	3000	0,4	0,91	0,8	0,81	0,82	0,84	0,74	0,82	N6
3			3500	0,4	0,78	0,73	0,71	0,72	0,81	0,76	0,75	N6
4	<i>Hss /</i>		2500	0,4	1,61	1,45	1,53	1,8	1,82	1,85	1,68	N7
5	<i>Down Cut</i>	500	3000	0,4	1,08	0,94	0,87	1,03	1,01	1,08	1,00	N6
6	<i>Milling</i>		3500	0,4	0,78	0,69	0,85	0,78	0,76	0,8	0,78	N6
7			2500	0,4	3,26	3,71	3,55	3,49	3,91	3,76	3,61	N8
8		700	3000	0,4	1,84	2,18	1,85	2,09	2,14	2,43	2,09	N7
9			3500	0,4	1,49	1,3	1,56	1,58	1,89	1,69	1,59	N7
Kelompok Eksperimen 4												
1			2500	0,4	0,72	0,91	0,83	0,73	0,69	0,56	0,74	N6
2		300	3000	0,4	0,79	0,7	0,67	0,66	0,68	0,67	0,70	N6
3			3500	0,4	0,73	0,89	0,65	0,64	0,56	0,56	0,67	N6
4	<i>Hss /</i>		2500	0,4	2,04	1,94	2,04	2,1	2,04	1,85	2,00	N7
5	<i>Up Cut</i>	500	3000	0,4	1,06	1,15	0,9	1,09	1,9	1,08	1,20	N6
6	<i>Milling</i>		3500	0,4	0,86	0,78	0,72	0,7	0,69	0,84	0,77	N6
7			2500	0,4	3,69	4,26	3,89	3,94	4	4,02	3,97	N8
8		700	3000	0,4	2,66	2,39	2,62	2,72	2,62	2,77	2,63	N8
9			3500	0,4	2,22	1,95	1,65	2,02	1,83	1,64	1,89	N7
Kelompok Eksperimen 5												
1			2500	0,2	1,07	0,99	1,08	0,91	0,9	0,86	0,97	N6
2		300	3000	0,2	0,76	0,73	0,79	0,83	0,78	0,81	0,78	N6
3			3500	0,2	0,69	0,65	0,72	0,87	0,86	0,82	0,77	N6
4	<i>Carbide /</i>		2500	0,2	1,26	1,31	1,25	1,44	1,32	1,38	1,33	N7
5	<i>Down Cut</i>	500	3000	0,2	1,09	1,08	1,1	1,1	1,16	1,15	1,11	N6
6	<i>Milling</i>		3500	0,2	3,72	1,12	1	1,02	1,05	1,06	1,50	N7
7			2500	0,2	1,72	1,66	1,76	1,61	1,66	1,5	1,65	N7
8		700	3000	0,2	1,28	1,26	1,25	1,32	1,29	1,41	1,30	N7
9			3500	0,2	1,46	1,46	1,37	1,42	1,36	1,39	1,41	N7
Kelompok Eksperimen 6												
1			2500	0,2	1	0,93	0,97	0,92	0,89	0,92	0,94	N6
2		300	3000	0,2	0,8	0,81	0,82	0,8	0,84	0,8	0,81	N6
3			3500	0,2	0,99	0,92	0,83	1,38	0,86	0,83	0,97	N6
4	<i>Carbide /</i>		2500	0,2	1,34	1,29	1,17	1,24	1,32	1,23	1,27	N7
5	<i>Up Cut</i>	500	3000	0,2	1,3	1,25	1,3	1,11	1,12	1,18	1,21	N7
6	<i>Milling</i>		3500	0,2	1,06	1,09	1,2	1,04	1,05	1,01	1,08	N6
7			2500	0,2	1,61	1,47	1,52	1,39	1,46	1,6	1,51	N7
8		700	3000	0,2	1,35	1,41	1,46	1,36	1,56	1,47	1,44	N7
9			3500	0,2	1,36	1,35	1,34	1,48	1,43	1,42	1,40	N7
Kelompok Eksperimen 7												
1	<i>Carbide /</i>		2500	0,4	1,21	0,66	0,73	1,51	0,6	0,73	0,91	N6
2	<i>Down Cut</i>	300	3000	0,4	0,79	0,78	0,67	0,75	0,71	0,69	0,73	N6
3	<i>Milling</i>		3500	0,4	0,63	0,62	0,67	0,68	0,59	0,59	0,63	N6

4		2500	0,4	1,56	1,47	1,27	1,35	1,42	1,13	1,37	N7
5	500	3000	0,4	0,97	0,97	0,9	1,01	0,96	0,88	0,95	N6
6		3500	0,4	0,69	0,62	0,76	0,71	0,72	0,74	0,71	N6
7		2500	0,4	1,61	1,74	1,57	1,65	1,48	1,31	1,56	N7
8	700	3000	0,4	0,92	0,95	1,19	0,99	0,94	1,18	1,03	N6
9		3500	0,4	1,03	1,07	0,97	1,1	1,23	1,05	1,08	N6
Kelompok Eksperimen 8											
1		2500	0,4	0,74	0,6	0,75	0,77	0,54	0,68	0,68	N6
2	300	3000	0,4	0,61	0,59	0,59	0,55	0,52	0,55	0,57	N5
3		3500	0,4	0,62	0,57	0,59	0,57	0,57	0,51	0,57	N5
4	Carbide /	2500	0,4	1,25	1,03	0,87	1,27	1,04	0,9	1,06	N6
5	Up Cut	500	3000	0,4	0,94	0,83	0,79	0,99	0,86	0,76	N6
6	Milling	3500	0,4	0,72	0,74	0,72	0,69	0,61	0,66	0,69	N6
7		2500	0,4	1,29	1,09	1,04	1,16	0,96	1,01	1,09	N6
8	700	3000	0,4	0,89	0,82	0,9	0,82	0,8	0,86	0,85	N6
9		3500	0,4	1,15	1,08	0,9	1,11	1,05	0,87	1,03	N6

B. Perhitungan Data Penelitian Metode Anova

Perhitungan data penelitian dilakukan setelah diperoleh keseluruhan data nilai kekasaran permukaan dari setiap kelompok eksperimen, selanjutnya dilakukan uji *Analysis of Variance* (Anova) menggunakan aplikasi Minitab 18. Selanjutnya keseluruhan data diproses dengan tahapan sebagai berikut :

1. *Analysis of Variance* (Anova) Nilai Rata-Rata (Ra)

Analisis of Variance (Anova) ini berguna untuk menguji sebuah hipotesis dari nilai rata-rata dua faktor atau lebih dengan harapan populasi yang ada sama pentingnya. Anova menilai pentingnya faktor yang terdiri dari satu atau lebih tersebut dengan membandingkannya dengan nilai rata-rata variabel respons pada tingkat faktor dan level yang berbeda. Pengujian statistik dengan cara *Analysis of Variance* terhadap variabel yang ditentukan, biasanya digunakan untuk pengujian data penelitian dengan metode eksperimen, pengujian Anova ini berguna untuk mengetahui kontribusi faktor/variabel bebas terhadap respon/variabel tetap, maka dari itu dapat diketahui faktor-faktor yang dapat mempengaruhi nilai respon ,dalam artian respon adalah nilai kekasaran permukaan Ra.

Tabel 3.2. Response Table for Means

Level	Material Cutter	Cutting Method	Feed rate	Spindle Speed	Depth of Cut
1	1,049	1,392	1,057	1,763	1,659
2	1,834	1,491	1,280	1,351	1,225
3			1,987	1,211	
Delta	0,784	0,099	0,929	0,552	0,434
Rank	2	5	1	3	4

Response Table for Means yang dapat dilihat pada Tabel 3.9 diperoleh faktor dan level yang sangat berpengaruh terbesar hingga tekecil terhadap nilai kekasaran permukaan Aluminium 6061 yang mana dapat diurutkan yaitu *Feed rate*, *Material Cutter*, *Spindle Speed*, *Depth of Cut*, Metode Penyayatan. Sehingga faktor *Feed rate* memiliki pengaruh paling besar terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja Aluminium 6061, kemudian *Material Cutter* diperingkat kedua, *spindle speed* diperingkat ketiga, kedalaman penyayatan diperingkat ke empat dan Metode penyayatan diperingkat terakhir. Selanjutnya dilakukan uji *Analysis of Variance* terhadap nilai rata-rata keseluruhan spesimen, maka diperoleh perhitungan *Analysis of Variance* sebagai berikut:

Tabel 3.3. Analysis of Variance (Anova) Nilai Rata-Rata (Ra)

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Material Cutter	1	11,0737	25,99%	11,0737	11,0737	55,70	0,000
Metode Penyayatan	1	0,1780	0,42%	0,1780	0,1780	0,90	0,348
Depth of Cut	1	3,3887	7,95%	3,3887	3,3887	17,05	0,000
Feed rate	2	11,3006	26,52%	11,3006	5,6503	28,42	0,000
Spindle Speed	2	3,9462	9,26%	3,9462	1,9731	9,93	0,000
Error	64	12,7230	29,86%	12,7230	0,1988		
Total	71	42,6103	100,00%				

Faktor yang mempengaruhi kelas kekasaran permukaan bahan Aluminium 6061 pada seluruh spesimen dapat dilihat pada Tabel 3.10. Nilai P -value dari setiap faktor dibandingkan dengan nilai F -value/ F -table dengan signifikansi 0,05 jadi dapat dinyatakan faktor dan level yang telah ditentukan berpengaruh signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan R_a bahan Aluminium 6061, dapat dilihat dari nilai P -value setiap faktor yang tidak melebihi nilai F -value atau standar signifikansi 0,05. Berdasarkan hasil perhitungan Anova tersebut dapat diketahui kontribusi dari setiap faktor yang ada terhadap nilai respon/ R_a , Faktor *Feed Rate* memiliki nilai persen kontribusi paling besar yaitu 26,52%, material *cutter* dengan jumlah persen kontribusi 25,99%, setelah itu untuk faktor dengan urutan persen kontribusi ketiga *spindle speed* dengan jumlah persen kontribusi 9,26%, kemudian dilanjutkan diurutkan persen kontribusi keempat dan kelima faktor kedalaman penyayatan dan metode penyayatan dengan persen kontribusi 7,95% dan 0,42%.

Presentase kontribusi dari setiap faktor merupakan gambaran sesungguhnya dari proses penelitian yang telah dilakukan yang dinyatakan dalam bentuk presentase (Novrialdy et al., 2021). Selanjutnya diketahui bahwa faktor *error* memiliki nilai persen kontribusi 29,86% dalam artian faktor *error* ini menunjukkan ada faktor tertentu yang tidak diperhitungkan yang dapat mempengaruhi nilai kekasaran permukaan benda kerja Aluminium 6061.

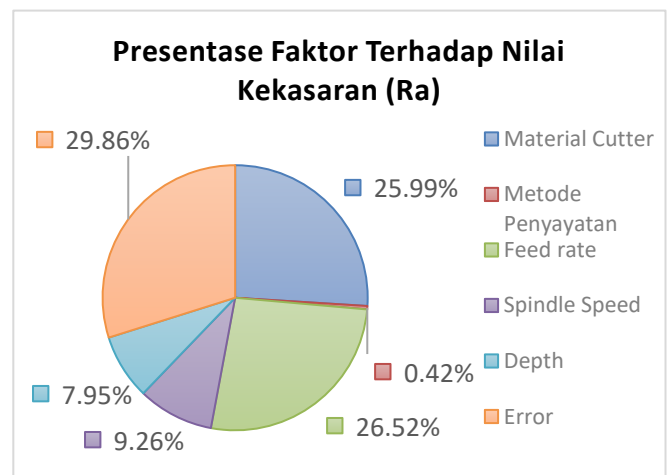
C. Pembahasan

Perhitungan dengan uji Anova pada data eksperimen yang diperoleh, maka berdasarkan hasil eksperimen seluruh kelompok pengujian diperoleh spesimen dengan kelas kekasaran permukaan terendah pada pengujian kelompok eksperimen ke 8 dengan perhitungan *Feed Rate* 300 mm/menit, *Spindle Speed* 3500 rpm, *Depth of Cut* 0,4 mm, metode penyayatan *Up cut* dan *cutter* dengan material *Carbide* diperoleh nilai kekasaran permukaan R_a yaitu 0,57 μ m, sedangkan kekasaran permukaan tertinggi diperoleh pada kelompok eksperimen 8 dengan perhitungan, *Feed Rate* 700 mm/menit, *Spindle Speed* 2500 rpm, *Depth of Cut* 0,4 mm, metode penyayatan *up cut milling* dan *cutter* dengan material *Hss* diperoleh nilai kekasaran R_a yaitu 3,97 μ m. Sehingga untuk menentukan *setting* parameter yang optimal untuk pekerjaan dengan bahan Aluminium 6061 pada mesin frais yaitu yang memiliki nilai kekasaran terendah pada penelitian ini pada eksperimen ke 8. Penelitian ini terdapat total 144 eksperimen pembuatan spesimen dan 5 faktor yang dipertimbangkan, dari pengujian Anova yang telah dilakukan dapat dinyatakan ada faktor yang memiliki pengaruh sangat signifikan dan ada faktor yang tidak terlalu

berpengaruh tetapi masih memiliki dampak terhadap nilai kekasaran permukaan bahan Aluminium 6061. Faktor *error* yang diperoleh sebesar 29,86 % , sehingga dinyatakan hasil data penelitian yang digunakan sudah sepenuhnya akurat dan terdapat sedikit faktor *error*. Faktor *error* dapat berupa data yang tidak akurat, kesalahan dalam proses pengerjaan, faktor mesin, faktor alat dan bahan dan faktor operator itu sendiri.

1. Analisa Perhitungan Anova terhadap Nilai Rata-Rata Kekasaran Permukaan

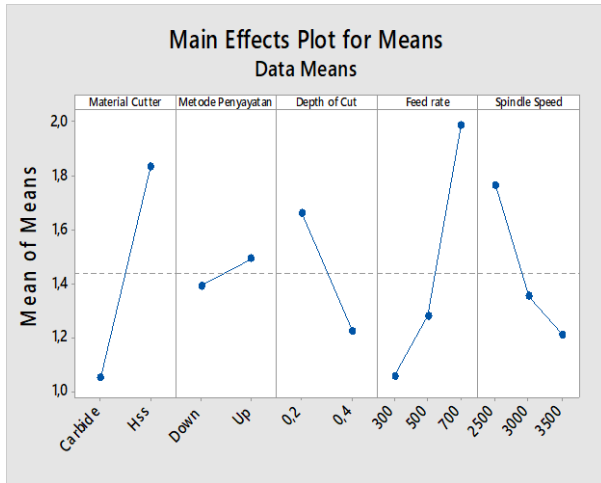
Analisa Perhitungan Anova dilakukan untuk mengetahui faktor-faktor mana yang paling memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja Aluminium 6061 dan untuk mengetahui kontribusi dari setiap faktor yang dinyatakan dalam bentuk persentase. Dari perhitungan Anova yang telah dilakukan diperoleh faktor – faktor yang ada memiliki nilai P -value $\leq f$ -value ,secara statistik dapat disimpulkan bahwa semua faktor tersebut berpengaruh signifikan terhadap nilai *response* kekasaran permukaan Aluminium 6061. adapun penjabaran dari pengaruh faktor terhadap nilai kekasaran R_a yang diperoleh dari perhitungan Anova digambarkan dalam diagram lingkaran dengan keterangan kontribusi faktor material pisau frais sebesar 25,99 % , faktor Metode Penyayatan sebesar 0,42%, faktor *Feed Rate* sebesar 26,52%, faktor *Spindle Speed* sebesar 9,26%, faktor *Depth of Cut* sebesar 7,95% dan untuk faktor *error* sebesar 29,86% , dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 3.1. Presentase Faktor terhadap Nilai Kekasaran Rata-Rata Ra

Faktor dengan pengaruh paling besar ialah faktor *Feed Rate* dan *Material Cutter* dan diikuti faktor lain yang juga berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan benda kerja Aluminium 6061, namun ada faktor yang tidak memberikan pengaruh signifikan yaitu faktor Metode Penyayatan. Sedangkan untuk faktor *error* pada penelitian ini tidak begitu besar

tidak lebih dari 50 %, dari faktor *error* tersebut dapat diasumsikan ada sebagian faktor yang telah hilang dari eksperimen ini yang tidak diperhitungkan dalam proses pengujian. Dari data nilai kekasaran permukaan seluruh spesimen dapat diketahui faktor yang paling menghasilkan nilai kekasaran permukaan ideal terhadap benda kerja Aluminium 6061 yang tertera pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Pengaruh Faktor terhadap Rata-Rata Nilai Kekasaran Ra

Nilai rata-rata kekasaran permukaan ditunjukkan pada Gambar 3.2 menunjukkan bahwa faktor material *cutter Carbide* menghasilkan nilai kekasaran Ra yang rendah, kemudian metode penyayatan *Down Cut* menghasilkan nilai Ra yang rendah, setelah itu faktor parameter pemesinan seperti *Feed rate* menunjukkan semakin tinggi nilai *feed rate* maka menghasilkan nilai Ra yang tinggi pula, begitu sebaliknya. Berbeda dengan faktor *Spindle Speed*, kecepatan putaran spindel mesin yang tinggi lebih menghasilkan permukaan benda kerja yang halus dengan kata lain memiliki nilai Ra yang rendah, begitu sebaliknya semakin rendah *Spindle Speed* semakin tinggi Nilai Ra yang diperoleh, sedangkan untuk faktor *depth of cut* pada penelitian ini terdapat dua variasi yang dilakukan 0,2 mm dan 0,4 mm. *Depth of Cut* 0,4 mm memperoleh nilai kekasaran permukaan yang paling rendah pada penelitian ini, seharusnya *Depth Of Cut* 0,2 mm lebih menghasilkan kekasaran permukaan terendah jika berpatokan pada teori dan penelitian serupa yang telah dilakukan. Pada penelitian ini membuktikan bahwa semakin rendah kedalaman penyayatan/*Depth of Cut* belum tentu menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang rendah.

2. Analisa Penentuan *Setting Level Optimal* berdasarkan Nilai Rata-Rata Kekasaran Permukaan Ra

Setting level Optimal dapat ditentukan dari hasil nilai rata-rata Ra keseluruhan spesimen terhadap respon yang dapat dilihat pada Tabel 3.9, dimana digunakan untuk mencari faktor dan level optimum pada

pengerjaan benda kerja bahan Aluminium 6061. Pada penelitian ini *setting level* yang optimal terdapat pada pengujian spesimen kelompok eksperimen ke 8 dengan *Feed Rate* 300 mm/menit, *Spindle Speed* 3000 rpm, *Depth of Cut* 0,4 mm, Metode Penyayatan *Up Cut milling* dan pisau frais/*cutter* dengan material *carbide* diperoleh nilai kekasaran permukaan paling ideal yaitu 0,57 μm dengan kelas kekasaran N5 dapat di lihat pada Tabel 3.8.

D. Konfirmasi Eksperimen

Konfirmasi eksperimen merupakan langkah untuk menguji faktor dan level yang ditentukan apakah sudah dapat memenuhi hasil yang diharapkan, dalam penelitian ini hasil yang diharapkan yaitu memperoleh nilai kekasaran permukaan serendah mungkin pada benda kerja Aluminium 6061, sesuai dengan karakteristik yang dipilih yaitu *Smaller the Better*. Kombinasi faktor dan level yang paling ideal pada pengerjaan benda kerja Aluminium 6061 ialah dengan perhitungan *Feed Rate* 300 mm/menit, *Spindle Speed* 3500 rpm, *Depth of Cut* 0,4 mm dan Metode Penyayatan *Up cut* dengan menggunakan *cutter Carbide*.

Tabel 3.4. Konfirmasi *Setting* Faktor Optimal

Material Cutter	Metode	Depth (mm)	n (rpm)	Vf (mm/min)	Ra (μm)
Carbide	Up cut	0,4	3500	300	0,57

IV. Kesimpulan

Kekasaran permukaan benda kerja merupakan hal penting yang harus diperhatikan ketika melakukan pengerjaan dengan mesin perkakas terlebih pada proses *finishing*, pada penelitian ini menggunakan mesin frais untuk pembuatan eksperimen yang telah direncanakan, dapat disimpulkan bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan benda kerja Aluminium 6061 yaitu faktor *feed rate* sebagai penyumbang presentase terbesar 26,52 %, kemudian faktor *Material Cutter* penyumbang presentase terbesar kedua 25,99 %, setelah diikuti dengan *Spindle Speed* 9,26 %, *Depth of Cut* 7,95 % dan Metode Penyayatan diurutan terakhir dengan presentase 0,42 %. Faktor *error* yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu 29,86 %, faktor *error* ini menandakan bahwa ada faktor lain yang tidak dipertimbangkan dalam penelitian ini yang memiliki pengaruh terhadap kekasaran permukaan Aluminium 6061. Sehingga penentuan *setting level* dan faktor yang paling optimal untuk pengerjaan benda kerja dengan bahan Aluminium 6061 yaitu menggunakan pisau frais dengan Material *Carbide*, Metode penyayatan *Up Cut*, *Depth of Cut* 0,4 mm,

Spindle Speed 3500 rpm, *Feed Rate* 300 mm/menit, diperoleh nilai kekasaran permukaan Ra terbaik 0,57 µm dikategorikan pada kelas kekasaran N5. maka dapat disimpulkan bahwa *Feed Rate* yang rendah akan menghasilkan nilai Ra yang rendah begitu sebaliknya. Sedangkan *Spindle Speed* yang tinggi akan menghasilkan nilai Ra yang rendah, sebaliknya semakin rendah putaran spindel akan menghasilkan kekasaran permukaan yang tinggi. *Depth of Cut* rendah belum tentu menghasilkan nilai Ra yang rendah tergantung dari karakteristik *cutter*, kemudian metode penyayatan yang menghasilkan nilai kekasaran paling ideal pada penelitian ini yaitu metode *Up Cut* dengan penggunaan *cutter Carbide*

Referensi

- Abbas, H., Bontong, Y., Aminy, Y., Azis, N., & Arief, S. (2013). Pengaruh Parameter Pemotongan Pada Operasi Pemotongan *Milling* Terhadap Getaran Dan Tingkat Kekasaran Permukaan (*Surface Roughness*) Hammada Abbas. *Snttm Xii*, 23–24.
- Christy, T. V., Murugan, N., & Kumar, S. (2010). *A comparative study on the microstructures and mechanical properties of Al 6061 alloy and the MMC Al 6061/TiB2/12p*. *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 9(1), 57-65.
- Fasesa, P. D., Suwarno, S., & Tuwoso, T. (2018). Tingkat Kekasaran Permukaan Roda Gigi Lurus Baja St 37 Pada Kecepatan Putaran Spindel, Variasi *Feeding*, dan *Depth of Cut*. *Jurnal Teknik Mesin Dan Pembelajaran*, 1(1), 1. <https://doi.org/10.17977/um054v1i1p1-6>
- Hadi, M. A., Ghani, J. A., Che Haron, C. H., & Kasim, M. S. (2013). *Comparison between up-milling and down-milling operations on tool wear in milling Inconel 718*. *Procedia Engineering*, 68, 647–653. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.12.234>
- Ibrahim, G. A. (2013). Konsep Proses Pemesinan Berkelanjutan. *Jurnal Mechanical*, 4(2), 18–22.
- Indrawan, E., A. Y., Rifelino, R., & Herianto, R. F. U. A. (2020). *Surface Quality Comparison of Down and Up cut Technique on CNC Milling Machine toward ST-37 Steel Material*. *MOTIVECTION: Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, 2(1), 11–20. <https://doi.org/10.46574/motivection.v2i1.65>
- Mosey, C. A., Poeng, R., & C.Neyland, J. (2013). Perhitungan waktu dan biaya pada proses pemesinan benda uji tarik. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin*, 4(1), 1–12. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/poros/article/view/6783/6307>
- Novrialdy, Y., Arwizet, K., Yufrizal, A., & Prasetya, F. (2021). Pengaruh Variasi *Feed Rate* Terhadap Kekasaran Permukaan *Polyethylene* Menggunakan Mesin *Cnc Milling*. *Jurnal Vokasi Mekanika (VoMek)*, 3(2), 25–33.
- Romiyadi, & Azriadi, E. (2013). Pengaruh Kemiringan Spindel Dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Getaran Mesin Frais Universal Knuth UFM 2. *Kemiringan, Pengaruh Dan, Spindel Pemakanan, Kecepatan*, 8(1), 31–36.
- Romiyadi, R. (2016). Pengaruh Kemiringan Benda Kerja dan Kecepatan Pemakanan terhadap Getaran Mesin Frais Universal Knuth UFM 2. *Mechanical*, 7(2), 52–60. <https://doi.org/10.23960/mech.v7.i2.201609>
- Saibah, B. R. M., Iryani, N., & Anwar, S. (2020). Daya Saing Dan Liberalisasi Perdagangan Pada Industri Manufaktur Indonesia. *Jurnal Akrab Juara*, 5(2), 151-158.
- Saragih, J. P. (2018). Kinerja Industri Manufaktur di Provinsi-Provinsi Sumatera Tahun 2010-2015 (*Manufacturing Industry Performance in Sumatra Provinces in 2010-2015*). *Jurnal Ekonomi & Kebijakan Publik*, 9(2), 131–146. <http://jurnal.dpr.go.id/index.php/ekp/article/view/747>
- Satya, V. E. (2018). Pancasila Dalam Menghadapi Era Revolusi Industri 4.0. *Pusat Penelitian Badan Keahlian DPR RI*, X(09), 19.
- Setiawan, M., Lubis, M. S. Y., & Rosehan, R. (2022). Pengaruh Parameter Permesinan *Milling* terhadap Kekasaran Permukaan Material *Stainless Steel 304* pada *Bracket Caliper* Sepeda Motor Menggunakan Metode Taguchi. *Syntax Literate; Jurnal Ilmiah Indonesia*, 7(6), 8437-8448.
- Sulaiman, D., & Mas'ud, M. (2020). Pengaruh Cairan Pendingin Pada Campuran Air Kapur Dengan Minyak Jelantah Terhadap Kekasaran Permukaan Baja St 42 Di Proses *End Milling*. *Mechanical and Manufacture Technology*, 1(2), 43–57.
- Syam, A. R., Yufrizal, A., Aziz, A., Syahri, B., & Aliafi, R. R. (2021). Perbandingan Nilai Kekasaran Permukaan Proses Frais Bahan Aluminium 6061 Menggunakan *Endmill* dan *Fly Cutter* dengan Variasi *Spindle Speed* pada Proses *Finishing*. *Jurnal Vokasi Mekanika (VoMek)*, 3(4), 31-38.
- Syaputra, H. (2022). Rancangan Struktur Dan Manufaktur *Surface Roughness* Baja St 37 Pada Proses Bubut Menggunakan Mata Pahat Karbida. 2, 1–11.
- Tsamroh, I., Suprpto, A., & Eka Setyawan, P. (2020). Optimasi Parameter *Anodizing* pada Aluminium 6061 dengan Metode Taguchi. *Seminat Nasional Teknologi Fakultas Teknik Unmer Malang*, 113–116.

- Wibowo, A. H. (2016). Analisis Pengaruh *Feeding* Pada Proses *End Milling Surface Finish* Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Baja Karbonrendah ,60.<https://lib.unnes.ac.id/27622/1/5201412072.pdf>
- Widiantoro, A. W., Khumaedi, M., & Sumbodo, W. (2017). Pengaruh Jenis Material Pahat Potong Dan Arah Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Ems 45 Pada Proses Cnc Milling (*Effect Of Types Of Material Cutting Tool and Feeding Direction on The Surface Roughness Steel EMS 45 in the CNC Milling Process*). *Saintekno: Jurnal Sains dan Teknologi*, 15(1), 13-24.
- Rachmadi, R., Yufrizal, A., Irzal, I., & Kurniawan, A. (2022). Pengaruh Sudut Potong Dan Kecepatan Putaran Spindel Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Baja Karbon Ems 45 Menggunakan Mesin Bubut Konvensional. *Jurnal Vokasi Mekanika (VoMek)*, 4(1), 151-157.