

Pengaruh Perbedaan Jumlah Bilah Mata Sayat Endmill Pada Proses *Machining* CNC Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Material Aluminium 6061 Setelah Proses Anodizing

Muhammad Khoirul Mu'minin, Bambang Waluyo Febriantoko
Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Kualitas permukaan hasil proses CNC milling merupakan salah satu faktor yang memengaruhi keberhasilan pelapisan anodizing pada material Aluminium 6061. Penelitian ini bertujuan untuk Menyelidiki nilai kekasaran permukaan material seri Aluminium 6061 sebelum proses (bahan baku), setelah proses pemesinan CNC Milling dan setelah proses anodizing. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan melakukan proses machining CNC milling, dilanjutkan proses anodizing, kemudian pengujian kekasaran permukaan menggunakan surface roughness tester pada tiga titik pengukuran setiap spesimen dan dihitung nilai rata-ratanya berdasarkan parameter Ra, Rq, dan Rz. Hasil pengujian menunjukkan bahwa raw material memiliki nilai kekasaran rata-rata sebesar Ra 0,692 μm , Rq 0,920 μm , dan Rz 5,066 μm . Setelah proses machining, pahat endmill 4 flute menghasilkan kekasaran yang lebih rendah (Ra 0,460 μm ; Rq 0,572 μm ; Rz 2,978 μm) dibandingkan pahat endmill 2 flute (Ra 1,150 μm ; Rq 1,406 μm ; Rz 6,382 μm). Setelah proses anodizing, pahat endmill 4 flute tetap menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih rendah, yaitu Ra 0,521 μm , Rq 0,668 μm , dan Rz 3,728 μm , dibandingkan pahat endmill 2 flute dengan nilai Ra 0,543 μm , Rq 0,720 μm , dan Rz 4,340 μm . Dengan demikian, penggunaan pahat endmill 4 flute lebih efektif dalam menghasilkan kualitas permukaan Aluminium 6061 yang lebih baik sebelum dan sesudah proses anodizing. Namun, pahat 4 flute memerlukan pemeriksaan berkala untuk mencegah penyumbatan geram (*chip clogging*) akibat ruang evakuasi geram yang lebih sempit.

Kata Kunci: Aluminium 6061, CNC Milling, Endmill 2 Flute, Endmill 4 Flute, Anodizing, Kekasaran Permukaan.

Abstract

The surface quality resulting from the CNC milling process is a key factor influencing the success of anodizing on 6061 aluminum. This study aims to investigate the surface roughness values of 6061 aluminum in its raw state, after CNC milling, and after anodizing. An experimental method was employed, involving CNC milling followed by anodizing; surface roughness was then measured at three points on each specimen, and average values were

calculated based on Ra, Rq, and Rz parameters. Test results indicate that the raw material had average roughness values of Ra 0.692 μm , Rq 0.920 μm , and Rz 5.066 μm . After machining, the 4-flute end mill produced lower roughness values (Ra 0.460 μm ; Rq 0.572 μm ; Rz 2.978 μm) compared to the 2-flute end mill (Ra 1.150 μm ; Rq 1.406 μm ; Rz 6.382 μm). Following the anodizing process, the 4-flute end mill continued to yield lower surface roughness values (Ra 0.521 μm , Rq 0.668 μm , and Rz 3.728 μm) compared to the 2-flute end mill (Ra 0.543 μm , Rq 0.720 μm , and Rz 4.340 μm). Thus, the 4-flute end mill is more effective at producing superior surface quality on 6061 aluminum, both before and after anodizing. However, the 4-flute tool requires periodic inspection to prevent chip clogging caused by the narrower chip evacuation space.

Keywords : *Aluminum 6061, CNC Milling, 2-Flute End Mill, 4-Flute End Mill, Anodizing, Surface Roughness.*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri manufaktur modern membutuhkan produk yang memiliki tingkat presisi ukuran dan kualitas permukaan yang semakin baik. Salah satu cara pemotongan yang sering digunakan untuk membuat bagian dengan tingkat presisi tinggi adalah proses pemotongan mesin CNC. Teknologi CNC Milling memungkinkan pemotongan bahan secara otomatis dengan akurasi yang tinggi, efisiensi produksi yang baik, serta dapat menghasilkan permukaan yang sesuai dengan standar industri otomotif, pertahanan udara, dan manufaktur presisi. Salah satu hal penting yang memengaruhi hasil pemotongan adalah tingkat kekasaran permukaan, karena sifat permukaan memengaruhi ketahanan terhadap kerusakan, ketahanan terhadap karat, serta tampilan produk. (Shaik, J. H., & Srinivas, J., 2017).

Material aluminium 6061 adalah salah satu jenis campuran aluminium yang sering digunakan di industri karena memiliki kombinasi sifat mekanis yang baik, berat yang ringan, mudah diproses dengan mesin, serta tahan terhadap korosi dengan baik. Keunggulan tersebut membuat Aluminium 6061 sering digunakan pada berbagai komponen seperti otomotif, bangunan, peralatan industri, dan bagian-bagian pesawat terbang. Selain itu, Aluminium 6061 termasuk bahan yang mudah diolah dengan proses pemahatan sehingga sering dipakai sebagai bahan uji dalam penelitian pengoptimalan parameter pemotongan. (Karakoç, E., & Çakır, O., 2023).

Dalam proses pemesinan CNC milling, kualitas permukaan benda hasil pemotongan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kecepatan pemotongan, putaran poros mesin, laju pemberian benda kerja, kedalaman pemakanan, bentuk pahat, serta jumlah alur pada alat pahat

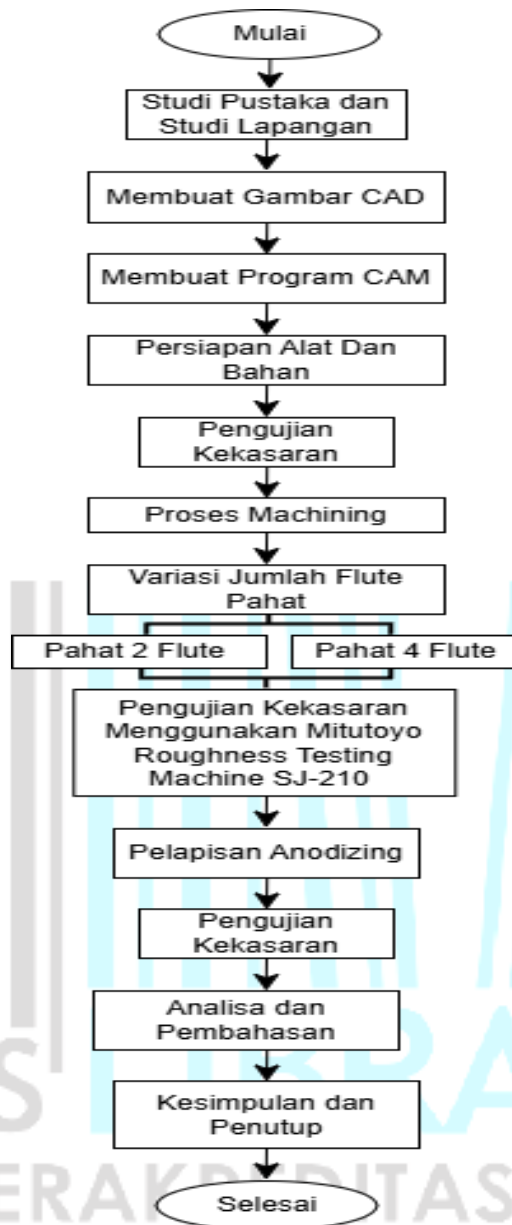
endmill. Jumlah flute merupakan salah satu ciri penting pada pahat yang mempengaruhi proses pembuatan geram, kestabilan saat memotong, penyebaran gaya pemotongan, serta kualitas permukaan benda yang diproses. Semakin banyak flute yang ada pada endmill, semakin sering mata potong bersentuhan dengan benda kerja, sehingga bisa menghasilkan permukaan yang lebih licin. Namun di sisi lain, peningkatan jumlah seruling dapat mengurangi ruang gerak yang berpotensi mengurangi kualitas pemotongan jika tidak didukung dengan parameter pemesinan yang tepat. (Shaik, J. H., & Srinivas, J., 2017).

Selain itu, kualitas permukaan Aluminium 6061 juga dipengaruhi oleh proses perlakuan permukaan, salah satunya adalah anodizing. Anodizing adalah proses elektrokimia yang bertujuan membuat lapisan oksida aluminium di permukaan bahan, agar bisa meningkatkan ketahanan terhadap karat, kekerasan permukaan, dan tampilan yang lebih menarik. Namun, beberapa penelitian menunjukkan bahwa proses anodizing dapat memengaruhi sifat permukaan benda yang telah dihaluskan, dan biasanya meningkatkan tingkat kekasaran permukaan, tergantung pada jenis anodizing, ketebalan lapisan oksida, serta kondisi permukaan awal bahan tersebut. (Karakoç, E., & Çakır, O., 2023).

Berdasarkan uraian diatas, maka akan dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh pelapisan anodizing pada hasil machining dengan terhadap kekasaran material. Penelitian ini kemudian dilakukan dengan judul ” Pengaruh Parameter Machining CNC Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Material Aluminium 6061 Setelah Proses Anodizing. ”

2. METODE PENELITIAN

2.1 Rancangan Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Studi Pustaka

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter machining CNC Milling terhadap nilai kekasaran dan kekerasan pada permukaan material setelah proses anodizing. Penelitian ini menggunakan material aluminium 6061 dengan ukuran panjang 155 mm, lebar 65 mm, dan tebal 12 mm. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah flute (mata potong) pahat. Proses machining ini dilakukan sebanyak 6 kali dengan benda kerja berupa Breket Kaliper. Pada studi pustaka dan studi lapangan didapatkan proses penelitian dan tempat pengujian specimen, di antaranya:

1. Proses Machining CNC Router 3 axis dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta
2. Proses Anodizing dilakukan di bengkel Anodized Boyolali
3. Pengujian kekasaran dengan menggunakan Mitutoyo Roughness Testing Machine SJ-210 dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.

2.3 Alat dan Bahan

Pada sub bab ini dibahas mengenai bahan dan alat yang digunakan di dalam proses penelitian ini dari proses pengerjaan preparasi material sampai pengujian spesimen.

2.3.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

- a. Mesin CNC Router 3 Axis

Dalam penelitian ini mesin CNC yang digunakan untuk pengujian adalah Mesin CNC Router 3 Axis custom yang diproduksi oleh CeduCNC.



Gambar 2. Mesin CNC Milling Router 3 Axis

- b. Surface Roughness Tester Mitutoyo SJ – 210 Standard Type Merupakan alat uji kekasaran yang prinsip kerjanya adalah menggunakan transducer, setelah itu diolah dengan microprocessor. Alat ini terdiri dari display unit, driver unit, dan detector.

- Display Unit

Berfungsi untuk menampilkan data grafik hasil pengujian kekasaran.

- Driver Unit

Berfungsi untuk mengendalikan dan mengatur letak pergerakan detector pada saat proses pengujian kekasaran.

- Detector

Berfungsi untuk mendeteksi kekasaran dengan cara kontak langsung antara permukaan benda dengan komponen skid dan stylus.



Gambar 3. Mitutoyo SJ – 210 Surface Roughness Tester

c. *Air Compressor*

Alat ini digunakan untuk membantu membersihkan beram sisa dari pemesinan yang berada pada jalur lintasan pahat potong.



Gambar 1. *Air Compressor*

d. Kunci Pass

Alat yang digunakan untuk mengencangkan atau mengendorkan *nut* pada arbor.



Gambar 2. Kunci Pass

e. Endmill *Carbide*

Pada penelitian ini menggunakan pahat *Carbide* diameter 6 mm 2 flute dan 4 flute



Gambar 3. Endmill *Carbide*

f. Ember atau Drum

Ember atau drum digunakan sebagai wadah untuk menampung larutan elektrolit pada saat melakukan pewarnaan anodizing.



Gambar 4. Ember atau Drum

g. Catu Daya DC / DC *Power Supply*

Digunakan untuk mengalirkan arus listrik yang menggerakkan proses elektrokimia untuk membuka pori-pori pada benda kerja.



Gambar 5. Power Supply

h. Kawat

Kawat digunakan untuk menggantung media(benda kerja) saat perlakuan anodizing.



Gambar 6. kawat

i. Jangka Sorong

Jangka sorong merupakan salah satu jenis alat ukur dengan tingkat akurasi yang tinggi. Alat ini sering digunakan untuk mengukur panjang benda, diameter benda, kedalaman benda, dan ketebalan suatu benda dengan tingkat ketelitian 0,5 mm.



Gambar 7. Jangka Sorong

2.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Aluminium seri 6061

Aluminium seri 6061 adalah paduan aluminium yang dikeraskan presipitasi, mengandung magnesium dan silikon sebagai elemen unsur paduan utamanya dengan menggunakan ukuran panjang 155 mm, lebar 65 mm, dan tebal 12 mm.

2. Larutan Elektrolit

Larutan asam yang akan mengoksidasi permukaan logam. Larutan yang paling umum adalah Asam Sulfat (H_2SO_4) dengan konsentrasi tertentu.

3. Air Demineralisasi (Deionized/DI Water)

Digunakan untuk membilas dan untuk membuat larutan elektrolit, karena mineral dalam air biasa dapat mengganggu proses.

2.4 Prosedur Tahapan Pengujian

Pada penelitian ini terdapat berbagai prosedur pengujian diantaranya yakni sebagai berikut :

2.4.1 Prosedur Tahapan Sebelum Pengujian CNC Router

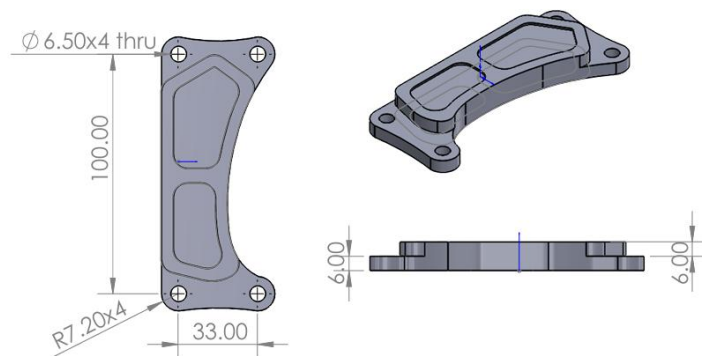
2.4.1.1 Pengecekan Mesin CNC Router

Pengecekan mesin uji penting dilakukan sebelum melakukan pengujian agar hasil yang didapatkan akurat dan terhindar dari malfungsi, adapun tahapannya yaitu sebagai berikut :

1. Pengecekan kompresor
2. Pengecekan sumbu koordinat
3. Pengecekan sistem pendingin oli

2.4.1.2 Pembuatan Desain dan Program CAM

Pembuatan desain benda kerja dan program CAM menggunakan *software SolidWork*, output dari pemrograman yang dibuat adalah file G Code.



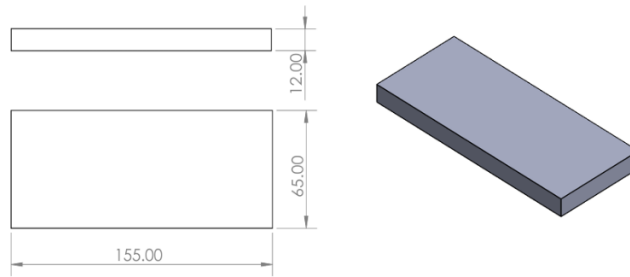
Gambar 8. Breket Kaliper

Alur pemrograman CAM pada proses Machining :

1. setelah desain selesai kemudian masuk kedalam solidworks CAM
2. menentukan koordinat benda kerja
3. mengatur parameter – parameter CAM baik dari segi kedalaman potong, putaran spindel, tools yang akan dipakai, dan sebagainya
4. kemudian mensimulasikan dari hasil settingan parameter – parameter
5. kemudian klik "Post Process" untuk memunculkan Gcode

2.4.1.3 Persiapan Bahan Plat Aluminium

Plat Aluminium yang digunakan dalam pengujian ini memiliki seri 6061 dengan dimensi ukuran panjang 155 mm, lebar 65 mm, dan tebal 12 mm.



Gambar 9. Bahan Baku Aluminium

2.4.1.4 Proses Permesinan

Prosedur yang dilakukan dalam proses permesinan menggunakan *CNC Milling* adalah sebagai berikut:

- a. Pemeriksaan awal sebelum mesin dihidupkan
 1. Memeriksa apakah area kerja operator sudah bersih dan lantai tidak licin.
 2. Memeriksa apakah koneksi kabel dan tegangan listrik telah terhubung dengan benar.
 3. Memastikan tidak ada benda yang mengganggu pada saat proses *machining* berlangsung
 4. Memeriksa benda kerja dan pahat terpasang dengan kuat dan benar
- b. SOP Menghidupkan Mesin
 1. Membuka software Mach3.
 2. Memutar switch power pada posisi ON.
 3. Memutar switch spindle pada posisi ON, lalu memutar switch
 4. putaran spindle pada arah CW.
 5. Menekan tombol RESET pada komputer.
 6. Mengerakkan sumbu koordinat X, Y, Z dengan menggunakan arah panah pada keyboard.
 7. Mesin dalam kondisi siap digunakan
- c. Input file Program Baru
 1. Menekan tombol LOAD G CODE pada komputer.
 2. Memilih dan memasukkan file G Code yang sudah dibuat.
 3. Program G Code siap digunakan.
- d. Machining benda kerja
 1. Menyiapkan bahan baku
 2. Menyiapkan *tools* atau pahat yang akan digunakan (Arbor, collet, Endmill *Carbide* diameter 6 mm 2 *flute*, dan Endmill *Carbide* diameter 6 mm 4 *flute*)
 3. Memasang benda kerja pada clamping
 4. Memastikan benda kerja terpasang pada *clamping* dengan kuat dan pas

5. Memasang arbor dengan memasukkan arbor sesuai dengan drat kepala arbor
 6. Melakukan setting titik nol X,Y,Z benda kerja dengan mendekatkan pahat kebenda kerja untuk mengetahui apakah pahat berjalan aman sesuai gcode
 7. Setelah itu menjauhkan pahat dari benda kerja
 8. Apabila settingan sudah sesuai dan aman, kemudian program bisa dijalankan dengan menekan tombol CYCLE START.
- e. Menyemprot bahan baku dengan menggunakan cairan pendingin pada saat proses permesinan berlangsung agar pahat Endmill tidak cepat panas dan aus.
 - f. Menyemprot bahan baku menggunakan air compressor agar beram yang berada pada area pemakanan tidak mengganggu jalannya pahat.
 - g. Menunggu hingga program yang dijalankan selesai, lalu melepas benda kerja dari pencekam.

2.4.2 Proses Anodizing

2.4.1.1 Tahap Pra-perlakuan (Pre-Treatment)

Tujuan tahap ini adalah membersihkan permukaan aluminium secara menyeluruh agar lapisan oksida dapat terbentuk dengan baik dan merata. Adapun langkah langkah Pra-perlakuan sebagai berikut :

1. Memersihkan permukaan benda kerja dari kotoran kasar, minyak, oli, dan lemak.
2. Mencelupkan benda kerja ke dalam larutan pembersih basa (alkali) yang dipanaskan selama 10 detik.
3. Membilas benda kerja dengan air bersih yang mengalir.

2.4.1.2 Tahap Anodizing (Pembentukan Lapisan Oksida)

Tahap ini adalah inti dari proses, di mana lapisan aluminium oksida yang berpori terbentuk melalui reaksi elektrokimia. Adapun tahapan anodizing sebagai berikut :

1. Menyiapkan rangkaian DC *Power Supply*
2. Menghubungkan benda kerja aluminium pada Anoda (+) dan elektroda inert (Alumunium) pada Katoda (-) dari sumber arus searah (DC).
3. Mencelupkan benda kerja dan katoda ke dalam larutan elektrolit (umumnya Asam Sulfat (H₂SO₄)atau Asam Kromik).
4. Menyalakan sumber arus searah (DC) dengan parameter tegangan 11,9 Volt selama ± 20 menit
5. Mematikan arus, angkat benda kerja, dan segera bilas dengan air mengalir.

2.4.1.3 Tahap Pasca-Perlakuan (Post-Treatment)

Tahap ini mencakup pewarnaan (jika diperlukan) dan penyegelan untuk meningkatkan sifat protektif. Adapun tahapan pasca perlakuan diantaranya sebagai berikut :

a. Perwarnaan

1. Mencelupkan benda kerja yang baru dianodisasi (masih berpori) ke dalam larutan pewarna selama ± 25 menit.
2. Membilas dengan air bersih untuk menghilangkan sisa pewarna yang tidak terserap.

b. Penyegelan

1. Mencelupkan benda kerja ke dalam air panas mendidih ($\approx 95^{\circ}\text{C}$ atau lebih) atau larutan penyegel berbahan kimia (misalnya nikel asetat).
2. Mengkeringkan benda kerja

2.5 Prosedur Pengukuran Kekasaran Permukaan Benda Kerja

Proses pengukuran kekasaran permukaan dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat ukur kekasaran permukaan yaitu Mitutoyo Surf test SJ – 210 *Surface Roughness Tester*.
2. Menghubungkan alat dengan pengisi daya DC 9V (*charging*) kemudian menyalakan alat tersebut.
3. Membersihkan benda kerja dari kotoran yang menempel di permukaan.
4. Meletakkan benda kerja hasil pemotongan pada permukaan yang datar dengan posisi hasil pemotongan material diletakkan pada bagian atas.
5. Meletakkan alat pengukur kekasaran permukaan diatas benda kerja yang telah dipotong, sehingga permukaan hasil pemotongan akan bersinggungan dengan alat pengukur kekasaran.
6. Memastikan kembali bahwa posisi material telah berada pada bidang datar.
7. Menekan tombol *start* dan melakukan proses pengujian.
8. Menunggu beberapa saat hingga muncul angka hasil kekasaran material pada monitor.
9. Mencatat hasil pengujian kekasaran permukaan.
10. Mengulangi dengan langkah yang sama pada semua benda kerja hasil pemotongan.

2.6 Rancangan Analisis Data

Rancangan analisis data merupakan permodelan data yang dibuat dengan maksud memperoleh informasi dari hasil penelitian.

2.6.1 Pengujian Kekasaran Permukaan

Pengujian kekasaran pada permukaan benda kerja akan dilakukan dengan menggunakan alat ukur Mitutoyo Surftest SJ – 210 *Surface Roughness Tester* di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta. Alat ini secara otomatis menunjukkan nilai kekasaran permukaan dari benda kerja setelah alat dilakukan kontak langsung pada permukaan benda kerja. Pengukuran akan dilakukan pada satu titik dari setiap spesimen benda kerja. Data hasil pengukuran kekasaran permukaan ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 1. Kekasaran Permukaan Benda Kerja Sebelum *Machining* (Raw Material)

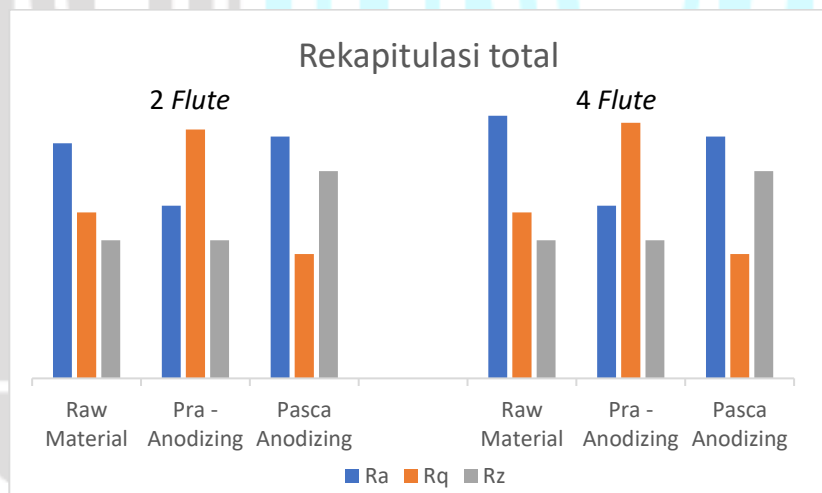
Area Pengujian	Nilai Kekasaran Permukaan		
	Ra (μm)	Rq (μm)	Rz (μm)
1			
2			
3			
Rata – Rata			

Tabel 2. Kekasaran Permukaan Benda Kerja Setelah *Machining*

No	Parameter Jumlah Bilah Pahat (Flute)	Spesimen Uji	Nilai Kekasaran (μm)		
			Ra	Rq	Rz
1.	2 Flute	1			
		2			
		3			
	Rata - rata				
2.	4 Flute	1			
		2			
		3			
	Rata - rata				

Tabel 3. Kekasaran Permukaan Benda Kerja Setelah Anodizing

No	Parameter Jumlah Bilah Pahat (Flute)	Spesimen Uji	Nilai Kekasaran (μm)		
			Ra	Rq	Rz
1.	2 Flute	1			
		2			
		3			
Rata - rata					
2.	4 Flute	1			
		2			
		3			
Rata - rata					

**Grafik 1.** Diagram Rata - Rata Ra, Rq, dan Rz Kekasaran Permukaan Benda

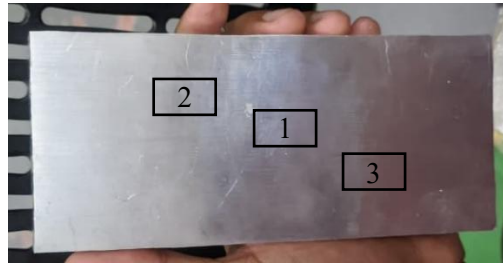
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil pengujian kekasaran permukaan Raw Material

Pengujian kekasaran permukaan pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta. Pengujian kekasaran ini dilakukan menggunakan alat uji kekasaran Mitotuyo Surface SJ – 210 Roughness Tester dengan standart iso 1997. Pengujian kekasaran permukaan Raw Material

Pada pengujian kekasaran permukaan bahan baku (*Raw Material*), dilakukan pengukuran pada tiga titik uji untuk menentukan nilai kekasaran material. Selanjutnya, hasil

pengukuran dari ketiga titik tersebut dihitung nilai rata-ratanya guna memperoleh nilai kekasaran permukaan yang mewakili kondisi material secara keseluruhan.



Gambar 13. Raw Material Aluminium 6061

Hasil Pengujian Kekasaran Spesimen

Tabel 4. Hasil Pengujian Kekasaran Spesimen

Area Pengujian	Nilai Kekasaran Permukaan		
	Ra (μm)	Rq (μm)	Rz (μm)
1	0.892	1.172	6.698
2	0.322	0.408	1.925
3	0.864	1.181	6.576
Rata – Rata	0.692	0.920	5.066

Berdasarkan Tabel 4. didapatkan nilai kekasaran rata-rata sebesar Ra 0.692 μm , Rq 0.920 μm , dan Rz 5.066 μm . Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat diartikan bawasannya nilai Ra tergolong kedalam kualitas kelas kekasaran N6 karena memenuhi spesifikasi antara 0.6 – 1.2 μm (Standar ISO 1997)

3.2 Hasil Pengujian kekasaran permukaan Setelah *Machining*

Pada pengujian kekasaran permukaan setelah *Machining* dilakukan pengukuran pada tiga titik uji untuk menentukan nilai kekasaran material. Selanjutnya, hasil pengukuran dari ketiga titik tersebut dihitung nilai rata-ratanya guna memperoleh nilai kekasaran permukaan yang mewakili kondisi material secara keseluruhan.



Gambar 14. Produk Setelah *Machining*

3.2.1 Pengujian kekasaran permukaan Setelah *Machining* (4 flute)

1. Pengujian Kekasaran permukaan Spesimen 1

Tabel 5. Hasil Pengujian Kekasaran Spesimen 1 (4 flute)

Area Pengujian	Nilai Kekasaran Permukaan		
	Ra (μm)	Rq (μm)	Rz (μm)
1	0.401	0.495	2.531
2	0.466	0.581	3.030
3	0.571	0.716	3.654
Rata – Rata	0.479	0.597	3.071

Berdasarkan Tabel 5 didapatkan nilai kekasaran rata-rata sebesar Ra 0.479 μm , Rq 0.597 μm , dan Rz 3.071 μm . Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat diartikan bawasannya nilai Ra tergolong kedalam kualitas kelas kekasaran N5 karena memenuhi spesifikasi antara 0.3 – 0.6 μm (Standar ISO 1997)

2. Pengujian Kekasaran permukaan Spesimen 2

Tabel 6. Hasil Pengujian Kekasaran Spesimen 2 (4 flute)

Area Pengujian	Nilai Kekasaran Permukaan		
	Ra (μm)	Rq (μm)	Rz (μm)
1	0.490	0.590	2.757
2	0.490	0.621	3.347
3	0.506	0.616	2.962
Rata – Rata	0.495	0.609	3.022

Berdasarkan Tabel 6 didapatkan nilai kekasaran rata-rata sebesar Ra 0.495 μm , Rq 0.609 μm , dan Rz 3.022 μm . Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat diartikan bawasannya nilai Ra tergolong kedalam kualitas kelas kekasaran N5 karena memenuhi spesifikasi antara 0.3 – 0.6 μm (Standar ISO 1997)

3. Pengujian Kekasaran permukaan Spesimen 3

Tabel 7. Hasil Pengujian Kekasaran Spesimen 3 (4 flute)

Area Pengujian	Nilai Kekasaran Permukaan		
	Ra (μm)	Rq (μm)	Rz (μm)
1	0.327	0.404	2.020
2	0.483	0.610	3.273
3	0.409	0.523	3.237
Rata – Rata	0.406	0.512	2.843

Berdasarkan Tabel 7 didapatkan nilai kekasaran rata-rata sebesar Ra 0.406 μm , Rq 0.512 μm , dan Rz 2.843 μm . Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat diartikan bawasannya nilai Ra tergolong kedalam kualitas kelas kekasaran N5 karena memenuhi spesifikasi antara 0.3 – 0.6 μm (Standar ISO 1997)

3.2.2 Pengujian kekasaran permukaan Setelah *Machining* (2 Flute)

- Pengujian Kekasaran permukaan Spesimen 1

Tabel 8. Hasil Pengujian Kekasaran Spesimen 1 (2 Flute)

Area Pengujian	Nilai Kekasaran Permukaan		
	Ra (μm)	Rq (μm)	Rz (μm)
1	1.283	1.554	6.263
2	1.345	1.658	6.894
3	1.372	1.727	7.736
Rata – Rata	1.333	1.646	6.964

Berdasarkan Tabel 8 didapatkan nilai kekasaran rata-rata sebesar Ra 1.333 μm , Rq 1.646 μm , dan Rz 6.964 μm . Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat diartikan bawasannya nilai Ra tergolong kedalam kualitas kelas kekasaran N7 karena memenuhi spesifikasi antara 1.2 – 2.4 μm (Standar ISO 1997)

- Pengujian Kekasaran permukaan Spesimen 2

Tabel 9. Hasil Pengujian Kekasaran Spesimen 2 (2 Flute)

Area Pengujian	Nilai Kekasaran Permukaan		
	Ra (μm)	Rq (μm)	Rz (μm)
1	0.940	1.157	4.395
2	1.048	1.295	6.055
3	0.942	1.158	5.224
Rata – Rata	0.976	1.203	5.224

Berdasarkan Tabel 9 didapatkan nilai kekasaran rata-rata sebesar Ra 0.976 μm , Rq 1.203 μm , dan Rz 5.224 μm . Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat diartikan bawasannya nilai Ra tergolong kedalam kualitas kelas kekasaran N6 karena memenuhi spesifikasi antara 0.6 – 1.2 μm (Standar ISO 1997)

- Pengujian Kekasaran permukaan Spesimen 3

Tabel 10. Hasil Pengujian Kekasaran Spesimen 3 (2 Flute)

Area Pengujian	Nilai Kekasaran Permukaan		
	Ra (μm)	Rq (μm)	Rz (μm)
1	1.179	1.385	5.473
2	0.978	1.196	5.549
3	1.272	1.527	9.853
Rata – Rata	1.143	1.369	6.958

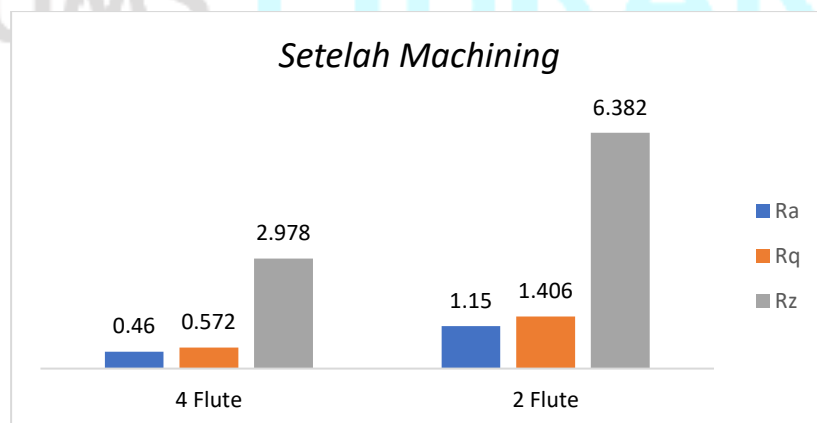
Berdasarkan Tabel 10 didapatkan nilai kekasaran rata-rata sebesar Ra 1.143 μm , Rq 1.369 μm , dan Rz 6.958 μm . Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat diartikan bawasannya nilai Ra tergolong kedalam kualitas kelas kekasaran N6 karena memenuhi spesifikasi antara 0.6 – 1.2 μm (Standar ISO 1997)

3.2.3 Rekapitulasi Pengujian Kekasaran Setelah *Machining*

Tabel 11. Rekapitulasi Pengujian Kekasaran Setelah *Machining*

No.	Parameter Jumlah Flute	Spesimen	Kekasaran Permukaan		
			Ra	Rq	Rz
1.	4 Flute	1	0.479	0.597	3.071
		2	0.495	0.609	3.022
		3	0.406	0.512	2.843
Rata - Rata			0.460	0.572	2.978
2.	2 Flute	1	1.333	1.646	6.964
		2	0.976	1.203	5.224
		3	1.143	1.369	6.958
Rata - Rata			1.150	1.406	6.382

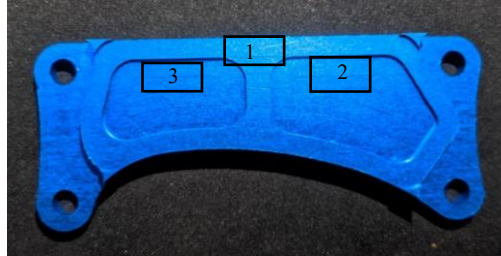
Berdasarkan Tabel 11 rekapitulasi pengujian kekerasan Setelah *Machining* didapatkan nilai kekasaran pada parameter 4 flute rata-rata sebesar Ra 0.460 μm , Rq 0.572 μm , dan Rz 2.978 μm , serta didapatkan nilai kekasaran pada parameter 2 flute rata-rata sebesar Ra 1.150 μm , Rq 1.406 μm , dan Rz 6.382 μm . Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat diartikan bawasannya nilai Ra tergolong kedalam kualitas kelas kekasaran N5 karena memenuhi spesifikasi antara 0.3 – 0.6 μm (Standar ISO 1997)



Grafik 2. Rekapitulasi *Setelah Machining*

3.3 Pengujian kekasaran permukaan Setelah Anodize

Pada pengujian kekasaran permukaan setelah *Anodize* dilakukan pengukuran pada tiga titik uji untuk menentukan nilai kekasaran material. Selanjutnya, hasil pengukuran dari ketiga titik tersebut dihitung nilai rata-ratanya guna memperoleh nilai kekasaran permukaan yang mewakili kondisi material secara keseluruhan.



Gambar 15. Produk Setelah Anodize

3.3.1 Pengujian kekasaran permukaan Setelah Anodize (4 Flute)

1. Pengujian Kekasaran permukaan Spesimen 1

Tabel 12. Hasil Pengujian Kekasaran Spesimen 1

Area Pengujian	Nilai Kekasaran Permukaan		
	Ra (μm)	Rq (μm)	Rz (μm)
1	0.469	0.593	3.270
2	0.622	0.791	4.357
3	0.565	0.724	4.142
Rata – Rata	0.552	0.702	3.923

Berdasarkan Tabel 12 didapatkan nilai kekasaran rata-rata sebesar Ra 0.552 μm , Rq 0.702 μm , dan Rz 3.923 μm . Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat diartikan bawasannya nilai Ra tergolong kedalam kualitas kelas kekasaran N5 karena memenuhi spesifikasi antara 0.3 – 0.6 μm (Standar ISO 1997)

2. Pengujian Kekasaran permukaan Spesimen 2

Tabel 13. Hasil Pengujian Kekasaran Spesimen 2 (4 Flute)

Area Pengujian	Nilai Kekasaran Permukaan		
	Ra (μm)	Rq (μm)	Rz (μm)
1	0.498	0.674	4.290
2	0.514	0.643	3.497
3	0.542	0.705	4.055
Rata – Rata	0.518	0.674	3.947

Berdasarkan Tabel 13 didapatkan nilai kekasaran rata-rata sebesar Ra 0.518 μm , Rq 0.674 μm , dan Rz 3.947 μm . Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat diartikan bawasannya nilai Ra tergolong kedalam kualitas kelas kekasaran N5 karena memenuhi spesifikasi antara 0.3 – 0.6 μm (Standar ISO 1997)

3. Pengujian Kekasaran permukaan Spesimen 3

Tabel 14. Hasil Pengujian Kekasaran Spesimen 3 (4 Flute)

Area Pengujian	Nilai Kekasaran Permukaan		
	Ra (μm)	Rq (μm)	Rz (μm)
1	0.449	0.580	3.197
2	0.489	0.599	2.893
3	0.542	0.708	3.856
Rata – Rata	0.493	0.629	3.315

Berdasarkan Tabel 14 didapatkan nilai kekasaran rata-rata sebesar Ra 0.493 μm , Rq 0.629 μm , dan Rz 3.315 μm . Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat diartikan bawasannya nilai Ra tergolong kedalam kualitas kelas kekasaran N5 karena memenuhi spesifikasi antara 0.3 – 0.6 μm (Standar ISO 1997)

3.3.2 Pengujian kekasaran permukaan Setelah Anodize (2 Flute)

1. Pengujian Kekasaran permukaan Spesimen 1

Tabel 15. Hasil Pengujian Kekasaran Spesimen 1

Area Pengujian	Nilai Kekasaran Permukaan		
	Ra (μm)	Rq (μm)	Rz (μm)
1	0.483	0.619	3.447
2	0.689	0.860	4.463
3	0.569	0.725	4.142
Rata – Rata	0.580	0.734	4.017

Berdasarkan Tabel 15 didapatkan nilai kekasaran rata-rata sebesar Ra 0.580 μm , Rq 0.734 μm , dan Rz 4.017 μm . Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat diartikan bawasannya nilai Ra tergolong kedalam kualitas kelas kekasaran N5 karena memenuhi spesifikasi antara 0.3 – 0.6 μm (Standar ISO 1997)

2. Pengujian Kekasaran permukaan Spesimen 2

Tabel 16. Hasil Pengujian Kekasaran Spesimen 2

Area Pengujian	Nilai Kekasaran Permukaan		
	Ra (μm)	Rq (μm)	Rz (μm)
1	0.466	0.577	3.053
2	0.601	0.789	4.861
3	0.547	0.929	8.019
Rata – Rata	0.538	0.765	5.311

Berdasarkan Tabel 16 didapatkan nilai kekasaran rata-rata sebesar Ra 0.538 μm , Rq 0.765 μm , dan Rz 5.311 μm . Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat diartikan bawasannya nilai Ra tergolong kedalam kualitas kelas kekasaran N5 karena memenuhi spesifikasi antara 0.3 – 0.6 μm (Standar ISO 1997)

3. Pengujian Kekasaran permukaan Spesimen 3

Tabel 17. Hasil Pengujian Kekasaran Spesimen 3

Area Pengujian	Nilai Kekasaran Permukaan		
	Ra (μm)	Rq (μm)	Rz (μm)
1	0.437	0.579	3.825
2	0.549	0.705	3.346
3	0.550	0.702	3.910
Rata – Rata	0.512	0.662	3.693

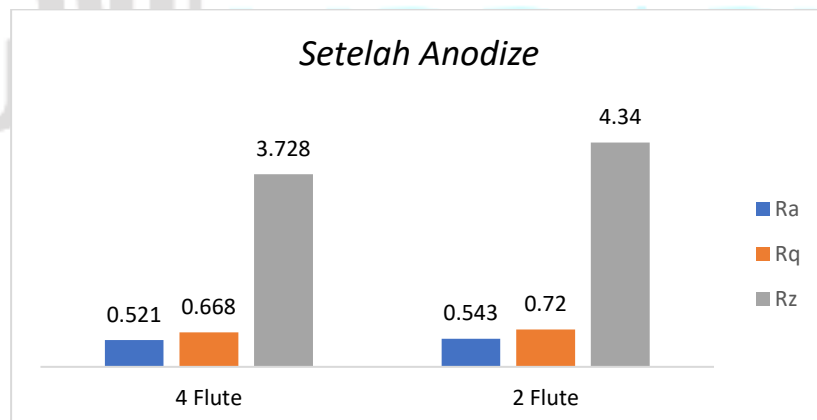
Berdasarkan Tabel 17 didapatkan nilai kekasaran rata-rata sebesar Ra 0.512 μm , Rq 0.662 μm , dan Rz 3.693 μm . Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat diartikan bawasannya nilai Ra tergolong kedalam kualitas kelas kekasaran N5 karena memenuhi spesifikasi antara 0.3 – 0.6 μm (Standar ISO 1997)

3.3.3 Rekapitulasi Pengujian Kekasaran Setelah *Anodize*

Tabel 18. Rekapitulasi Pengujian Kekasaran Setelah *Anodize*

No.	Parameter Jumlah Flute	Spesimen	Kekasaran Permukaan		
			Ra	Rq	Rz
1.	4 Flute	1	0.552	0.702	3.923
		2	0.518	0.674	3.947
		3	0.493	0.629	3.315
	Rata - Rata		0.521	0.668	3.728
2.	2 Flute	1	0.580	0.734	4.017
		2	0.538	0.765	5.311
		3	0.512	0.662	3.693
	Rata - Rata		0.543	0.720	4.340

Berdasarkan Tabel 18 rekapitulasi pengujian kekerasan *Anodize* didapatkan nilai kekasaran pada parameter 4 flute rata-rata sebesar Ra 0.521 μm , Rq 0.668 μm , dan Rz 3.728 μm , serta didapatkan nilai kekasaran pada parameter 2 flute rata-rata sebesar Ra 0.543 μm , Rq 0.720 μm , dan Rz 4.340 μm . Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat diartikan bawasannya nilai Ra tergolong kedalam kualitas kelas kekasaran N5 karena memenuhi spesifikasi antara 0.3 – 0.6 μm (Standar ISO 1997)



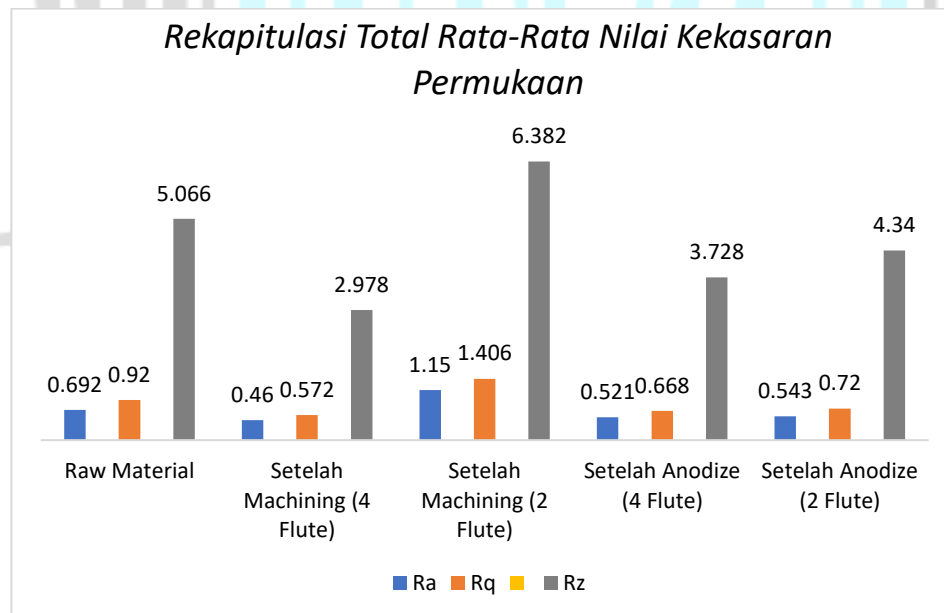
Grafik 3. Rekapitulasi Setelah Anodizing

3.4 Rekapitulasi Total Rata-Rata Nilai Kekasaran Permukaan

Tabel 19. Rekapitulasi Total Rata-Rata Nilai Kekasaran Permukaan

No.	Parameter Perbandingan	Kekasaran Permukaan		
		Ra (μm)	Rq (μm)	Rz (μm)
1.	Raw Material	0.692	0.920	5.066
2.	Setelah <i>Machining</i> (4 Flute)	0.460	0.572	2.978
3.	Setelah <i>Machining</i> (2 Flute)	1.150	1.406	6.382
4.	Setelah Anodize (4 Flute)	0.521	0.668	3.728
5.	Setelah Anodize (2 Flute)	0.543	0.720	4.340

Berdasarkan tabel 19 Rekapitulasi Total Rata-Rata Nilai Kekasaran Permukaan dapat disimpulkan bahwa hasil rata-rata paling baik setelah machining yaitu menggunakan variasi 4 flute dengan nilai kekasaran Ra 0.460 μm , Rq 0.572 μm , dan Rz 2.978 μm , dan nilai kekasaran setelah anodize paling baik didapatkan pada variasi 4 flute dengan nilai rata-rata sebesar Ra 0.521 μm , Rq 0.668 μm , dan Rz 3.728 μm .



Grafik 4. Rekapitulasi Total Rata-Rata Nilai Kekasaran Permukaan

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian terhadap material aluminium 6061 menggunakan mesin CNC Milling Router 3 Axis dengan menggunakan variasi perbedaan jumlah bilah pisau (Flute) yang diuji dengan pengujian kekasaran permukaan menggunakan alat Mitutoyo Surftest SJ-210 Surface Roughness Tester. Pada pengujian ini dilakukan secara tiga lapis pengujian diantaranya pengujian kekasaran pada raw material, kemudian pengujian kekasaran setelah proses machining, dan pengujian kekasaran setelah proses anodize. Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan dengan ditampilkannya data berikut :

1. Data uji kekasaran pada raw material didapatkan nilai kekasaran rata-rata sebesar

No.	Parameter Perbandingan	Kekasaran Permukaan		
		Ra (μm)	Rq (μm)	Rz (μm)
1.	Raw Material	0.692	0.920	5.066
2.	Setelah <i>Machining</i> (4 Flute)	0.460	0.572	2.978
3.	Setelah <i>Machining</i> (2 Flute)	1.150	1.406	6.382
4.	Setelah Anodize (4 Flute)	0.521	0.668	3.728
5.	Setelah Anodize (2 Flute)	0.543	0.720	4.340

Secara keseluruhan proses machining dan pelapisan anodize pada material aluminium 6061 yang menggunakan pahat endmill 4 flute menghasilkan tingkat kekasaran permukaan yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan pahat endmill 2 flute. Oleh karena itu, pahat endmill 4 flute lebih sesuai digunakan pada proses machining, baik dengan proses finishing maupun tanpa proses finishing sebelum dilakukan pelapisan anodize. Namun, selama proses machining berlangsung diperlukan pengecekan secara berkala karena pahat endmill 4 flute memiliki empat mata potong yang menyebabkan ruang evakuasi geram (chip space) lebih sempit. Kondisi tersebut meningkatkan potensi terjadinya penyumbatan geram (chip clogging), yang dapat menghambat proses pemesinan serta menimbulkan cacat pada permukaan benda kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Diggle, J. W., Downie, T. C., & Goulding, C. W. (1969). *Anodic Oxide Films on Aluminum*. Chemical Reviews, 69(3), 365–405.
- Firmansyah Y. R. & Hasyim B. A., (2014). *Pengaruh Jumlah Mata Sayat Endmill Cutter, Kedalaman Pemakanan Dan Kecepatan Pemakanan (Feeding) Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Benda Kerja Pada Mesin Miling Cnc Tu-3a Dengan Program G01*. JTM. Vol 03 No 02, 38-43
- Ghosh, A., & Mallik, A. K. (1985). *Manufacturing Science*. East-West Press Pvt. Ltd., New Delhi.
- Haryanto, B., & Wijaya, A. (2019). *Studi Komparasi Kekerasan Lapisan Hard Anodizing pada Paduan Aluminium*. Jurnal Sains & Teknologi, 10(1), 45-52.
- Haryono, A. (2018). *Buku Pengantar Ilmu dan Rekayasa Bahan*. Bandung: ITB Press.
- Jatmiko, S.A. (2019). *Buku Mekanika Material Lanjut*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2014). *Manufacturing Engineering and Technology*. Pearson Education.
- Karakoç, E., & Çakır, O. (2023). Examination of Surface Roughness Values of 6061-T6 Aluminum Material After Machining and After Anodizing Process. *Materials Today: Proceedings*, 80, 32–39. DOI: 10.1016/j.matpr.2022.10.058.
- Lestari, R., & Nugroho, A. (2021). *Pengaruh Konsentrasi Larutan Asam Sulfat terhadap Ketebalan Lapisan Anodizing*. Jurnal Rekayasa Material, 8(2), 112-120.
- Mahendra A, dkk., (2023). ” Analisis Pengaruh Nilai Parameter Proses Pemesinan Milling Terhadap Kekasaran Permukaan Aluminium 7075.” *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, Vol.01, No.2
- Munadi, & Sudji. (1980). *Buku Dasar - dasar Metrologi Industri*. Jakarta: Proyek Pengembangan Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan.
- Pocius, A. V. (2002). *Adhesion and Adhesives Technology: An Introduction*.
- Pramono, A. (2019). *Pemrograman dan operasi mesin CNC*. Andi Publisher.
- Priyono, A., & Santoso, B. (2020). *Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Lapisan Anodized Aluminium*. Jurnal Ilmu Material, 4(1), 15-22.
- Purwanto, B. (2017). *Buku Teknologi Mesin CNC Dasar*. Bandung: Rekayasa Sains.

- Rahman Muhammad Arif, (2023). *Pengaruh Jumlah Mata Sayat Pahat Potong Endmill Terhadap Kekasaran Benda Kerja Dan Jumlah Material Yang Terbuang Menggunakan Mesin Milling Router 3 Axis* (Skripsi). Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Ramadhani N. A., dkk (2026). *Pengaruh Proses Surface Treatment Anodizing terhadap Surface Roughness dan Densitas Aluminium 5058*. Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika Vol. 5, No. 2
- Setiawan, H. (2018). *Buku Aplikasi Mesin CNC dalam Industri Manufaktur*. Jakarta: Erlangga.
- Shaik, J. H., & Srinivas, J. (2017). Optimal Selection of Operating Parameters in End Milling of Al-6061 Work Materials Using Multi-objective Approach. *Mechanics of Advanced Materials and Modern Processes*, 3(5).
- Stephenson, D. A., & Agapiou, J. S. (2006). *Metal Cutting Theory and Practice* (2nd ed.). CRC Press.
- Susanto, B., & Wibowo, Y. (2018). *Pengembangan Lapisan Anodizing Tipe I untuk Aplikasi Kedirgantaraan*. Jurnal Dirgantara, 6(1), 5-13.
- Tooling U-SME. (2020). *Cutting Tools for the Milling Machine*. Society of Manufacturing Engineers (SME), Cleveland, OH, USA.
- Wernick, S., Pinner, R., & Sheasby, P. G. (1987). *The Surface Treatment and Finishing of Aluminum and Its Alloys*.

