

Pengaruh Parameter Proses Permesinan CNC Milling dan Penggunaan Media Pendingin terhadap Kekasaran, Waktu Pemesinan dan Konsumsi Energi

Oleh:

Dryan Oliver Murdyanto (221020200011)

Dr. Mulyadi, ST., MT

Progam Studi Teknik Mesin

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Januari 2026



Pendahuluan

Pada era industri 4.0, efisiensi serta keberlanjutan menjadi aspek fundamental yang semakin diprioritaskan dalam sistem manufaktur modern. Salah satu teknologi yang berkontribusi signifikan dalam mewujudkan tujuan tersebut adalah mesin CNC (*Computer Numerical Control*), khususnya CNC milling, yang mampu menghasilkan proses pemesinan dengan akurasi tinggi, pengendalian kecepatan produksi yang optimal, serta kemampuan membentuk geometri komponen yang kompleks secara fleksibel.

Parameter proses seperti *depth of cut*, *feed rate*, dan *spindle speed* merupakan faktor utama dalam operasi pemotongan pada CNC milling. Setiap parameter memiliki pengaruh langsung terhadap kekasaran permukaan (*surface roughness*), waktu pemesinan, dan energi yang dikonsumsi. penggunaan media pendingin juga menjadi faktor yang tidak kalah penting. Media pendingin berfungsi untuk mengurangi suhu dan gesekan serta memperpanjang umur alat potong selama proses pemesinan, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi kekasaran benda kerja, waktu pemesinan dan konsumsi energi pada mesin CNC Milling.

Dalam konteks penelitian ini, terdapat celah yang perlu diisi. Sebagian besar studi sebelumnya lebih fokus pada satu atau dua parameter tanpa mempertimbangkan interaksi antara semua parameter yang relevan, termasuk penggunaan media pendingin.

Rumusan Masalah

1.

Bagaimana Pengaruh Parameter Proses Permesinan dan Media Pendingin Terhadap Waktu Pemesinan Pada Proses CNC Milling?

2.

Bagaimana Pengaruh Parameter Proses Permesinan dan Media Pendingin Terhadap Konsumsi Energi Pada Proses CNC Milling?

3.

Bagaimana Pengaruh Parameter Proses Permesinan dan Media Pendingin Terhadap Kekasaran Permukaan Aluminium A6061 Pada Proses CNC Milling?

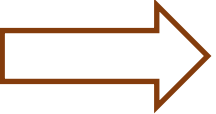
Batasan Masalah

1. Parameter yang dikaji dibatasi pada tiga variabel utama dan divariasikan , yaitu *depth of cut* (0.2, 0.5, 0.8) mm, *feed rate* (800, 1100, 1800) mm/min, dan *spindle speed* (1800, 2500, 3000) RPM,
2. Penelitian dibatasi hanya menggunakan satu jenis material benda kerja, yaitu aluminium A6061, tanpa perbandingan dengan jenis material lainnya.
3. Jenis media pendingin yang digunakan dibatasi pada dua kondisi, yaitu: Tanpa pendinginan dan pendingin Emulcut M49.
4. Pengujian yang dilakukan meliputi: Uji kekasaran (*surface roughness*), waktu pemesinan, dan konsumsi energi.
5. Alat potong dibatasi hanya menggunakan pahat HSS diameter 12 mm tanpa variasi jenis coating atau ukuran pahat lainnya.
6. Kedalaman pemotongan, kecepatan makan, dan putaran spindle yang digunakan dibatasi pada range aman mesin dan tidak menguji kondisi ekstrem atau pemotongan berat (*heavy cutting*).

Tujuan Penelitian



Menganalisis pengaruh variasi parameter proses pemesinan CNC milling, yaitu depth of cut, feed rate, dan spindle speed terhadap Kekasaran permukaan (surface roughness) benda kerja aluminium A6061, Waktu pemesinan yang dibutuhkan dalam setiap proses, dan Konsumsi Energi Listrik selama proses pemesinan.



Menganalisis pengaruh penggunaan media pendingin (coolant Emulcut M49 dan tanpa pendingin/dry machining) terhadap hasil pemesinan, khususnya dalam Meningkatkan kualitas permukaan benda kerja, mengurangi waktu pemesinan, dan menurunkan konsumsi energi.

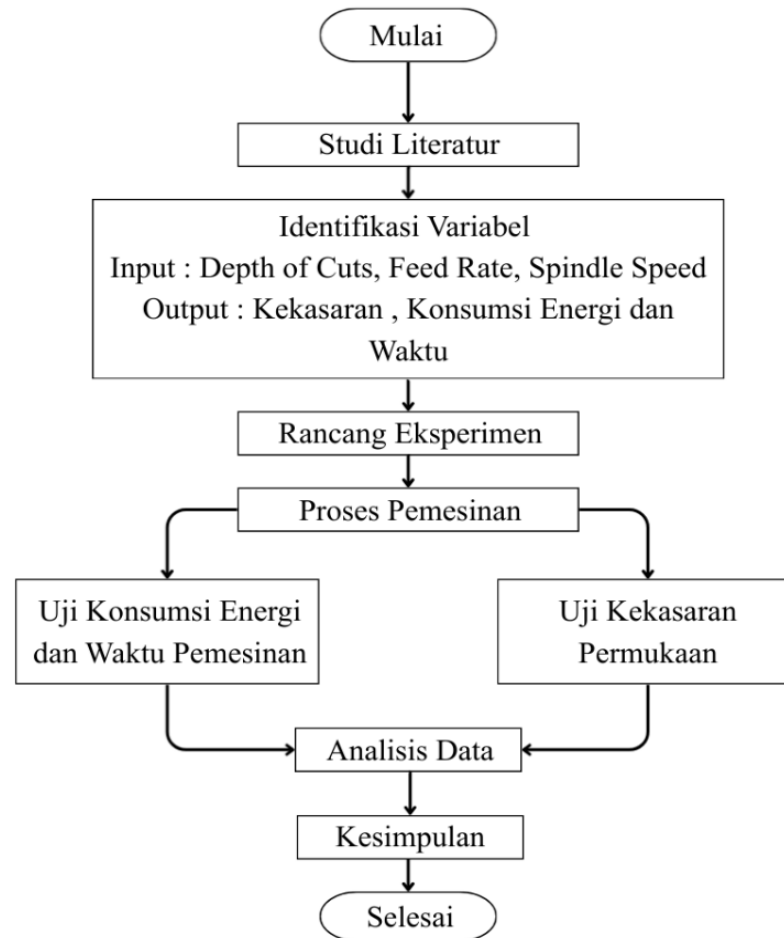


Menentukan kombinasi parameter proses dan kondisi pendinginan yang paling optimal untuk mencapai efisiensi proses tertinggi, yaitu; hasil pemesinan dengan kekasaran permukaan minimal, durasi proses pemesinan tercepat, dan penggunaan energi listrik yang paling hemat.

Metode Penelitian

Penelitian ini akan menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental untuk menganalisis pengaruh variasi parameter proses permesinan CNC milling dan penggunaan media pendingin terhadap kekasaran permukaan, waktu pemesinan, dan konsumsi energi listrik. Penelitian ini menggunakan Metode Taguchi Orthogonal Array L9 sebagai pendekatan statistik dalam menyusun desain eksperimen yang efisien namun tetap valid secara ilmiah[11]. Waktu pelaksanaan penelitian meliputi tahap persiapan dan pengambilan data. Objek penelitian ini adalah proses pemesinan CNC milling pada material Aluminium A6061 menggunakan mesin CNC Milling tipe VMC 640.

Diagram Alir Penelitian



Identifikasi Variabel

Variabel Bebas Terdiri Dari:

1. Depth Of Cut (mm)
 - 0.2, 0.5, 0.8
2. Feed Rate (mm/menit)
 - 800, 1100, 1800
3. Spindle Speed (RPM)
 - 1800, 2500, 3000
4. Media Pendingin
 - Tanpa Pendingin
 - Pendingin Cair

Variabel Terikat Terdiri Dari:

1. Waktu Pemesinan: Total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses milling.
2. Konsumsi Energi: Energi listrik yang digunakan selama proses pemesinan.
3. Kekasaran Permukaan: diukur dalam satuan μm (mikrometer).

Material A6061

Pada penelitian ini menggunakan material aluminium A6061 dengan panjang 100 mm, lebar 40 mm, dan tinggi 30 mm, berikut karakteristik material sebagai bahan uji:

Karakteristik material

Spesimen	Densitas Material	Kekuatan Tarik	Kekerasan
Aluminium 6061	2,7 g/cm ³	290 MPa	95 HB



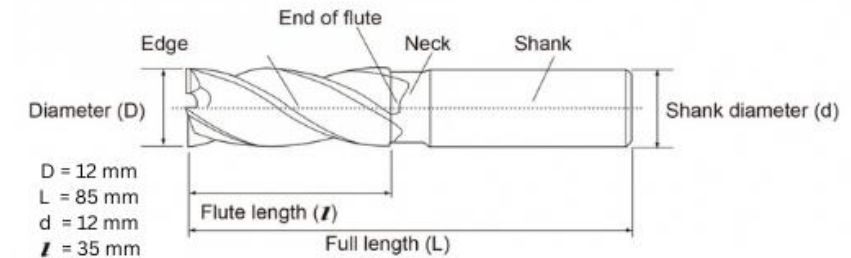
Aluminium A6061

Material Tool High Speed Steel (HSS) M2A1

Tool pemotong yang digunakan dalam proses pemesinan adalah pahat jenis endmill berbahan *High Speed Steel* (HSS) dengan diameter 12 mm dan jumlah mata potong (*flute*) sebanyak 4 buah. Geometri pahat endmill yang digunakan memiliki sudut heliks (*helix angle*) dan sudut bebas (*clearance angle*). Karakteristik mekanik pada tool ini ditunjukkan pada tabel:

Sifat Mekanik Endmill M2A1

Material Pahat	Kekerasan	Kekuatan Tarik	Kekuatan Tekan	Modulus Elastisitas
HSS M2A1	65 HRC	1900 MPa	3000 MPa	210 GPa



Tool Endmill HSS M2A1

Uji Waktu Pemmesinan Dan Konsumsi Energi

Pengukuran konsumsi energi listrik pada mesin CNC milling tipe VMC 640 dilakukan untuk mengetahui besarnya energi yang digunakan selama proses pemmesinan berlangsung. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengukuran Tegangan dan arus listrik menggunakan tang ampere tiga fasa (*three-phase clamp meter*) yang dipasang pada panel suplai listrik mesin CNC Milling. Tang ampere tiga fasa digunakan untuk mengukur tegangan dan arus listrik pada masing-masing fasa (R, S, dan T). Pengambilan data arus dan tegangan dilakukan saat mesin CNC menjalankan program pemotongan (*cutting*), khususnya pada proses milling pocket[12]. Nilai yang terbaca dicatat dan diambil nilai rata-rata selama waktu pemmesinan. Perhitungan daya listrik total mesin CNC dilakukan menggunakan persamaan daya tiga fasa. Konsumsi energi listrik selama proses pemmesinan dihitung dengan mengalikan daya listrik total dengan waktu pemmesinan yang telah dicatat dan diukur menggunakan *stopwatch* sehingga diperoleh energi listrik dalam satuan *kilowatt-hour* (kWh).

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \dots\dots\dots(1)$$

$$E = P \times t \dots\dots\dots(2)$$

P = Daya Pada Mesin CNC Milling
 V = Tegangan Listrik
 I = Arus Listrik
 $\cos\phi$ = Faktor Daya

E = Energi Listrik
 P = Daya Listrik
 t = Waktu Pemmesinan



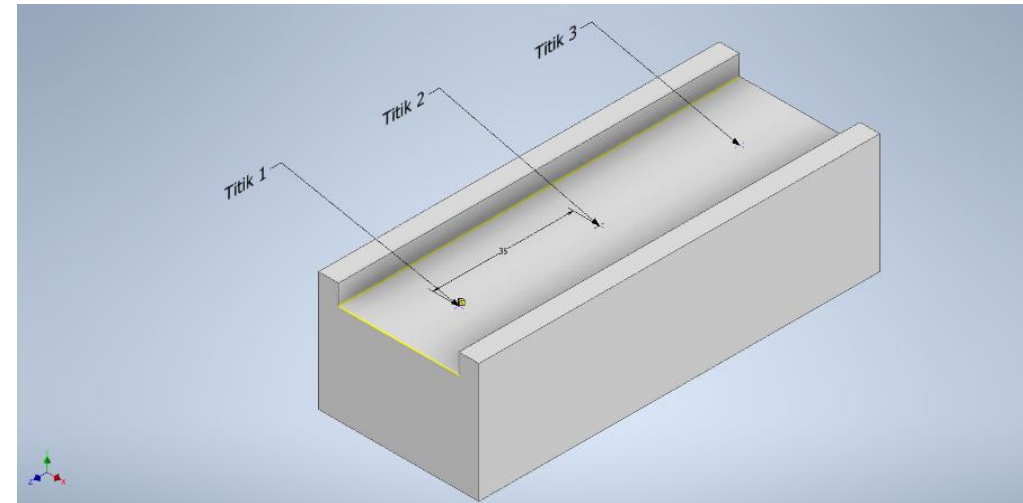
Uji Kekasaran Permukaan Material A6061

Uji kekasaran permukaan



Pengukuran kekasaran permukaan dilakukan pada tiga titik, yaitu Titik 1 di awal lintasan pemotongan, Titik 2 di bagian tengah lintasan, dan Titik 3 di akhir lintasan pemesinan dengan jarak per titik 35 mm yang semuanya berada pada bidang hasil pemesinan dan searah dengan arah pemakanan pahat. Penempatan ketiga titik ini bertujuan untuk mengevaluasi variasi dan keseragaman kekasaran permukaan sepanjang proses pemotongan, sehingga nilai kekasaran yang diperoleh dapat mewakili kualitas permukaan hasil CNC milling secara keseluruhan.

Gambar dibawah menunjukkan penentuan titik pengukuran kekasaran permukaan.



Titik uji kekasaran permukaan

Hasil Uji Konsumsi Energi dan Waktu

Berdasarkan pengujian yang dilakukan menggunakan tang ampere, berikut adalah tabel hasil dari setiap fasa penggunaan konsumsi energi pada mesin cnc milling tipe vmc 640:

Hasil uji konsumsi energi dan waktu pemesinan						
Spesimen	Parameter			Rata – Rata konsumsi energi (kWh)	Waktu (menit)	Pendingin
	depth of cut (mm)	feed rate (mm/menit)	spindel speed (RPM)			
1	0.2	800	1800	0,80	23.25	Dry
2	0.2	1100	2500	0,66	19.23	Dry
3	0.2	1800	3000	0,52	15.15	Coolant
4	0.5	800	1800	0,32	09.33	Coolant
5	0.5	1100	2500	0,26	07.55	Dry
6	0.5	1800	3000	0,21	06.16	Dry
7	0.8	800	1800	0,22	06.45	Coolant
8	0.8	1100	2500	0,18	05.38	Coolant
9	0.8	1800	3000	0,15	04.27	Coolant

Dengan menggunakan hasil data dari Tang ampere, dilakukan perhitungan konsumsi energi menggunakan Persamaan 1 dan 2 sebagai berikut:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi$$

$$E = P \times t$$

$$P = \sqrt{3} \times 242,07 \times 5,741 \times 0,85$$

$$P = 2046,01 \text{ W}$$

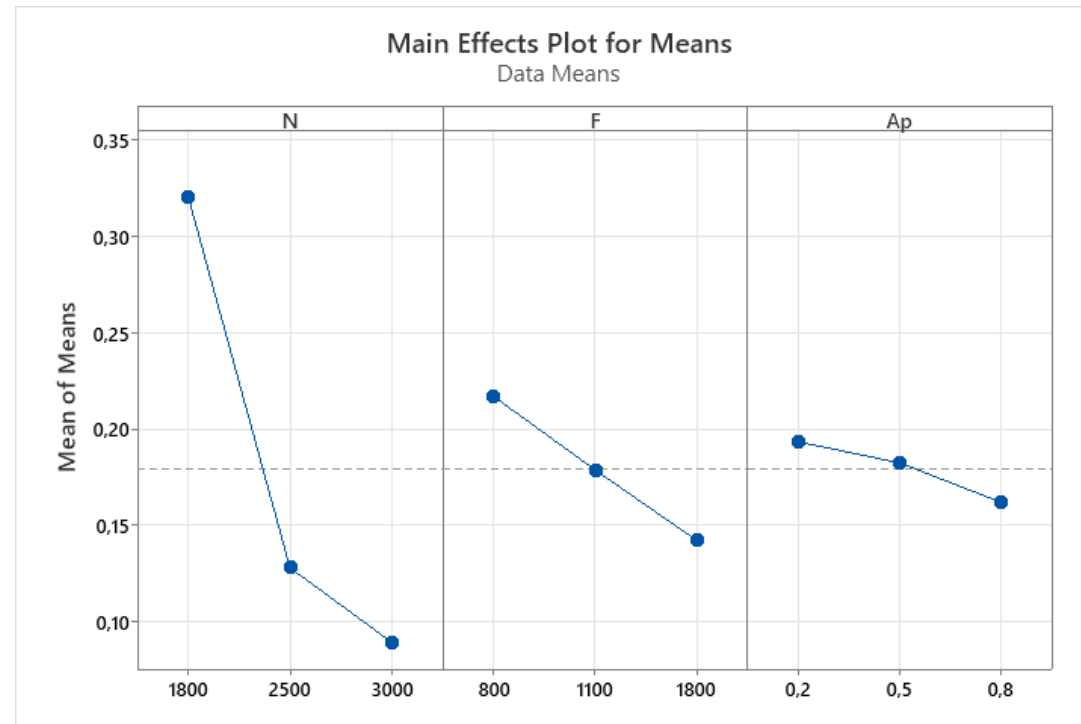
$$P = 2,046 \text{ kW}$$

$$E = 2,046 \text{ kW} \times 0,3875 \text{ Jam}$$

$$E = 0,80 \text{ kWh}$$

Visualisasi

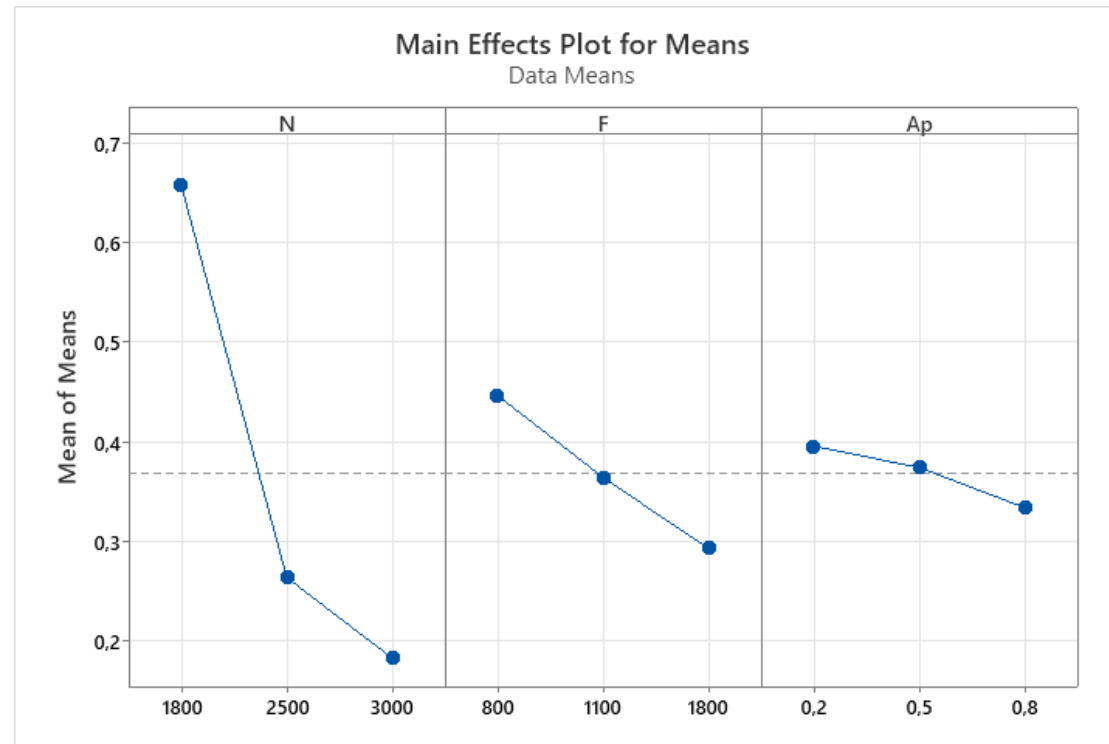
Visualisasi hasil Analisa dalam bentuk grafik



Grafik uji waktu pemesanan

Visualisasi

Visualisasi hasil Analisa dalam bentuk grafik



Grafik uji konsumsi energi

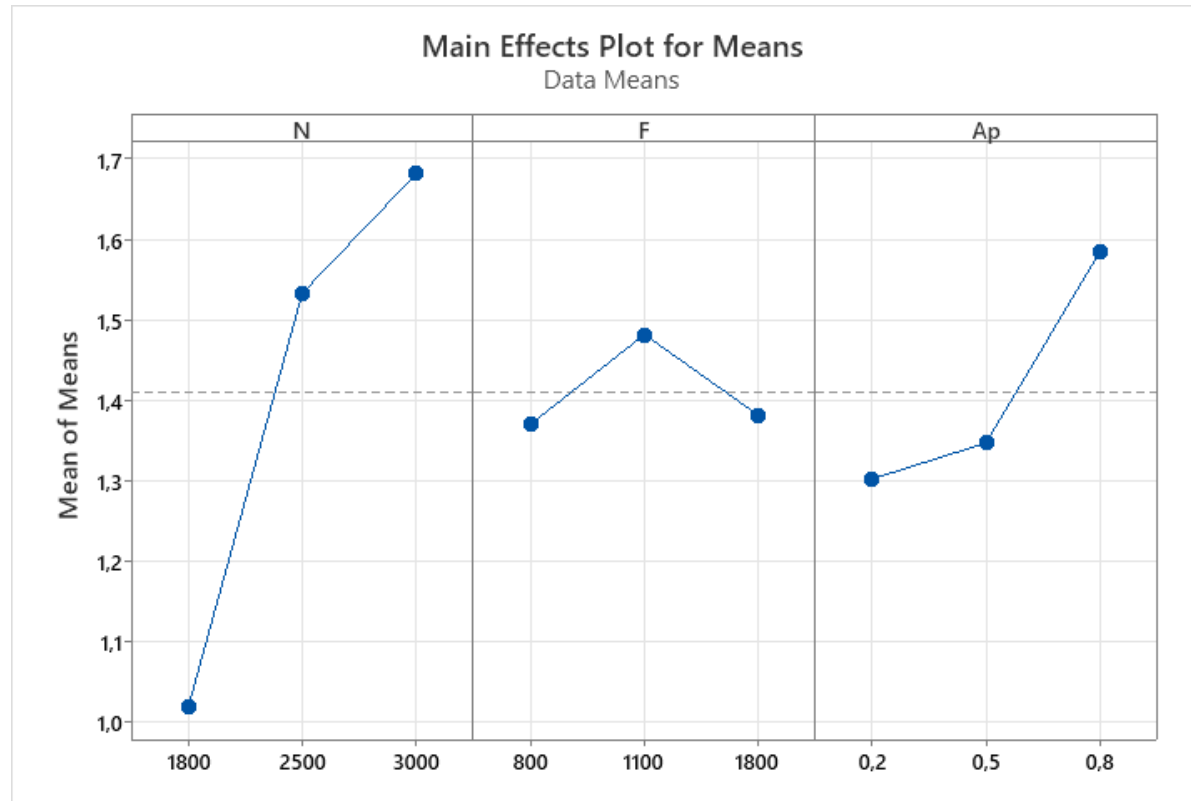
Hasil Uji Kekasaran Permukaan

Berdasarkan pengujian kekasaran permukaan yang dilakukan menggunakan alat ukur mitutoyo SJ 210, berikut adalah tabel rekapitulasi hasil pengukuran kekasaran permukaan pada tiga titik:

Hasil uji kekasaran permukaan							
Spesimen	Parameter			Titik 1 (μm)	Titik 2 (μm)	Titik 3 (μm)	Pendingin
	depth of cut (mm)	feed rate (mm/menit)	spindel speed (RPM)				
1	0.2	800	1800	1,115	0,49	0,871	Dry
2	0.2	1100	2500	1,309	0,652	1,405	Dry
3	0.2	1800	3000	1,514	0,773	1,034	Coolant
4	0.5	800	1800	1,709	0,864	1,549	Coolant
5	0.5	1100	2500	1,885	1,56	1,754	Dry
6	0.5	1800	3000	1,589	1,995	0,891	Dry
7	0.8	800	1800	2,434	1,674	1,624	Coolant
8	0.8	1100	2500	1,933	1,559	1,276	Coolant
9	0.8	1800	3000	2,059	1,346	1,227	Coolant

Visualisasi

Visualisasi hasil Analisa dalam bentuk grafik



Grafik uji kekasaran permukaan

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter proses permesinan CNC milling yang meliputi *spindle speed*, *feed rate*, *depth of cut*, serta penggunaan media pendingin berpengaruh terhadap waktu pemesinan, konsumsi energi, dan kekasaran permukaan Aluminium A6061. Peningkatan *spindle speed* dan *feed rate* terbukti secara signifikan mampu menurunkan waktu pemesinan dan konsumsi energi, dengan *spindle speed* sebagai faktor paling dominan, karena mempercepat laju pemotongan sehingga durasi proses menjadi lebih singkat dan energi yang digunakan lebih efisien, sedangkan *depth of cut* memberikan pengaruh yang relatif lebih kecil terhadap kedua respon tersebut. Sebaliknya, terhadap kekasaran permukaan, peningkatan *depth of cut* dan *spindle speed* cenderung meningkatkan nilai kekasaran akibat bertambahnya gaya potong, getaran, dan temperatur pemesinan, sementara *feed rate* menunjukkan pengaruh yang tidak linier. Penggunaan media pendingin *coolant* dibandingkan *dry machining* mampu meningkatkan stabilitas proses, menurunkan panas dan gesekan, sehingga menghasilkan waktu pemesinan dan konsumsi energi yang lebih rendah serta kualitas permukaan yang lebih baik, khususnya pada kombinasi parameter tinggi, sehingga pemilihan kombinasi parameter proses dan media pendingin yang tepat menjadi kunci utama dalam mencapai efisiensi dan kualitas optimal pada proses CNC milling Aluminium A6061.

