

Pengaruh Radius *Tool* Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Pada *CNC Turning*

M. Saiful¹Insal Kamil²

Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknik Mesin

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: saifuldhani6@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen faktorial 2×3 . Yang dimana 2 radius *tool* akan menggunakan 3 *feed* yang berbeda dengan 3 replikasi pada masing-masing kombinasi. Tujuannya tidak hanya untuk membuktikan "R besar lebih halus", tapi juga melihat hubungan antara radius pahat dan *feed rate*. Pengujian dilakukan dengan terhadap *Nose radius* (0.4 dan 0.8) serta *feed rate* (0,1 mm/rev, 0,15 mm/rev, dan 0.2 mm/rev) sebagai pembanding, menjadi tolak ukur kombinasi yang cocok pada proses pembubutan material SUS 304 Ø19mm dengan panjang pembubutan adalah 15mm. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin *CNC Turning Mori Seiki* dengan kontrol *fanuc*, dan nilai kekasaran permukaan yang akan diukur menggunakan alat *roughness tester* dengan standar ISO 4287. Setelah nilai *Ra* didapat maka akan dilanjutkan dengan analisis data yang akan menggunakan ANOVA Two-Way. Analisis data meliputi penyusunan hipotesis dan pengukuran statistik uji pada nilai kekasaran permukaan (*Ra*) yang didapat. Dari hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa radius *tool* dan *feedrate* sangat berpengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan benda uji. Hal ini bisa dilihat pada nilai *F Hitung* yang lebih besar daripada nilai *F Tabel* dan nilai *P Value* yang lebih kecil daripada batas nilai 0,05 (α) yang berarti hipotesis H_0 ditolak, artinya variasi *radius tool* dan *feedrate* berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan.

Kata kunci: *Nose radius, Feedrate, CNC Turning, Kekasaran, ANOVA Two-Way*

Abstract

*This study employed a 2×3 factorial experimental design, in which two tool nose radii were tested using three different feed rates with three replications for each treatment combination. The objective of this study was not only to verify that a larger tool nose radius produces a smoother surface finish, but also to investigate the interaction between tool nose radius and feed rate on surface roughness. The experiments were conducted using tool nose radii of 0.4 mm and 0.8 mm, combined with feed rates of 0.10 mm/rev, 0.15 mm/rev, and 0.20 mm/rev to determine the most suitable machining parameter combination for turning SUS 304 stainless steel with a workpiece diameter of 19 mm and a machining length of 15 mm. The machining process was performed using a Mori Seiki CNC Turning machine equipped with a Fanuc control system. Surface roughness measurements were carried out using a surface roughness tester in accordance with the ISO 4287 standard. The obtained surface roughness (*Ra*) values were subsequently analyzed using Two-Way Analysis of Variance (Two-Way ANOVA). The data analysis included hypothesis testing and statistical evaluation of the measured surface roughness values. The results of the analysis indicate that both the tool nose radius and feed rate have a statistically significant effect on the surface roughness of the machined specimens. This is evidenced by the calculated *F*-values, which were greater than the corresponding *F*-table values, and *p*-values that were lower than the significance level of 0.05, leading to the rejection of the null hypothesis (H_0). Therefore, it can be concluded that variations in tool nose radius and feed rate significantly influence the surface roughness of SUS 304 during the CNC turning process.*

Keywords: *Nose radius, Feedrate, CNC turning, Surface roughness, Two-Way ANOVA.*

1. Pendahuluan

Dalam melakukan pembuatan produk pemesinan banyak proses yang harus dilalui dengan berbagai macam mesin perkakas, salah satunya adalah proses *turning* atau bubut. Mesin bubut adalah alat yang sangat penting dalam industri manufaktur dan teknik, dikenal luas karena kemampuannya dalam memproduksi komponen dengan presisi tinggi. Mesin bubut bekerja berdasarkan prinsip dasar pemutaran benda kerja dan pemotongan material menggunakan alat potong yang tetap [1]. Semakin berkembangnya teknologi seperti sekarang ini, mesin yang awalnya digunakan secara konvensional berubah menjadi mesin semi otomatis sampai mesin dengan proses full otomatis. Mesin *CNC* adalah salah satu bukti perkembangan dalam dunia manufaktur. *CNC* adalah singkatan dari “*Computer Numerical Control*” yang merupakan sistem otomasi mesin perkakas yang dioperasikan oleh perintah yang diprogram secara abstrak dan disimpan di media penyimpanan, hal ini berlawanan dengan kebiasaan sebelumnya dimana mesin perkakas biasanya dikontrol dengan putaran tangan. Salah satu mesin yang sudah mengadopsi kendali komputer atau *CNC* adalah mesin bubut/*turning* [2].

Mesin *CNC Turning* menjadi salah satu mesin yang sangat penting dalam sebuah pembuatan komponen silindris yang sangat menuntut presisi tinggi. Salah satu indikator utama yang menunjukkan kualitas produk hasil pembubutan *CNC* adalah kekasaran permukaan (*surface roughness*). Kekasaran permukaan logam merujuk pada tekstur atau kondisi fisik permukaan logam yang dapat diukur dan diidentifikasi. Kekasaran permukaan dapat memiliki pengaruh signifikan terhadap berbagai aspek, seperti kekuatan gesekan, kemampuan perekatan, dan karakteristik korosi. Evaluasi kekasaran permukaan melibatkan pengukuran dan analisis profil atau pola permukaan tersebut [3]. Namun, harus diingat bahwa kekasaran permukaan sebuah produk tidak harus memiliki nilai yang kecil, tetapi terkadang sebuah produk membutuhkan nilai kekasaran permukaan yang besar sesuai dengan fungsinya [4].

Nilai kekasaran pada permukaan logam merupakan salah satu pertimbangan dalam menentukan mutu suatu produk logam. Mutu produk tentunya mengacu pada hubungan antara kekasaran permukaan dengan sifat mekanik, sifat optik maupun sifat elektrik yang terbentuk dari produk yang dibuat. Nilai kekasaran logam dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah proses pembentukan logam, proses pemotongan logam yang sudah terbentuk, pemberian kecepatan pemotongan logam dan pemberian sudut pemotongan logam [3].

Dari penelitian yang dilakukan [5] dan [6] bisa disimpulkan bahwa alat potong biasanya dilengkapi dengan sudut membulat yang dapat mempengaruhi hasil dari permukaan benda kerja. Semakin besar radius pahat, semakin halus permukaan (nilai *Ra* menurun), karena lembah yang terbentuk menjadi lebih dangkal hal ini terjadi dikarenakan bentuk pahat yang lebih tumpul menghasilkan alur pemotongan yang lebih halus dan stabil. Namun, tidak hanya radius *tool* yang berpengaruh dalam hasil pembubutan yang dilakukan, parameter yang mendukung juga menjadi aspek penting dalam mencapai hasil yang ditentukan. Radius yang besar namun *feed rate* yang terlalu rendah juga dapat menghasilkan permukaan yang kasar, diakibatkan oleh pengaruh dari gaya potong, tegangan potong, regangan, temperatur pada zona pemotongan, dan pada akhirnya degradasi pahat pada benda kerja tersebut. Interaksi antara radius ujung pahat dan parameter pemotongan (kecepatan, gerak makan) paling banyak memengaruhi tegangan potong.

Dengan jenis radius *tool* dan parameter pemotongan yang diuji, peneliti berharap dapat menemukan hubungan antara radius pahat dengan parameter pemotongan (kecepatan potong, kecepatan pemakanan, dan kedalaman potong) dalam menghasilkan tingkat kekasaran permukaan pada benda kerja. Yang kemudian, diharapkan dapat menjadi referensi bagi saya dan para praktisi manufaktur dalam menentukan strategi pemesinan yang efektif, sehingga dapat meningkatkan kualitas produk yang akan dibuat.

2 Metodologi Penelitian

2.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan eksperimen faktorial 2x3 dengan metode pendekatan kuantitatif. Metode kuantitatif adalah metode penelitian yang digunakan pada populasi atau sampel tertentu untuk dapat menguji hipotesis yang sudah ditetapkan, dengan melakukan pengumpulan data menggunakan instrumen penelitian serta analisis data yang bersifat kuantitatif atau statistik [7].

- **Faktor 1 (Radius Tool) : 2 Level yaitu R0.4 dan R0.8**
- **Faktor 2 (Feedrate) : 3 Level yaitu f0.1, f0.15, dan f0.2**
- **Kombinasi pengujian : 2x3 = 6 kombinasi**
- **Jumlah Sampel : Setiap kombinasi diulang 3 kali (replikasi) untuk akurasi data.**

Total spesimen adalah 6x3 = 18 spesimen uji

Penelitian ini dilakukan untuk membuktikan bagaimana pengaruh radius tool yang berbeda terhadap feedrate yang berbeda pula. Radius tool pada pahat bubut (sering disebut nose radius) adalah kelengkungan pada ujung mata potong pahat. Ukuran radius ini menentukan tingkat kehalusan permukaan benda kerja dan kekuatan pahat [8]. Sedangkan feedrate merupakan salah satu parameter pemotongan yang terdapat pada proses pembubutan [1].

2.2 Variabel Penelitian

- a. Variabel Bebas : **Radius Tool dan Feedrate**
- b. Variabel Terikat : **Nilai kekasaran permukaan (Ra).**

Menurut (*Boothroyd G.G. & Knight 2006*), **Kekasaran permukaan** yang diperoleh selama operasi pemesinan dapat dianggap sebagai gabungan dari dua efek independen:

1. Kekasaran permukaan "ideal" yang merupakan hasil dari geometri alat dan laju pemakanan atau kecepatan pemakanan
2. Kekasaran permukaan "alami", yang merupakan hasil dari ketidakteraturan dalam operasi pemotongan

Kekasaran Permukaan Ideal

Kekasaran permukaan ideal mewakili hasil akhir terbaik yang mungkin diperoleh untuk bentuk alat dan laju pemakanan tertentu dan hanya bisa dicapai jika chip yang menumpuk, getaran, ketidakakuratan gerakan mesin, dan sebagainya, dihilangkan.

Nilai kekasaran ini sangat terkait dengan laju pemakanan dan radius sudut melalui ekspresi berikut:

$$R_a = \frac{0.0321xf^2}{r_\epsilon}$$

Dari rumus ini bisa dibuktikan bahwasanya, kombinasi radius yang lebih kecil dan feedrate yang lebih tinggi akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih besar. Sedangkan kombinasi radius yang lebih besar dan feedrate yang lebih kecil akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih kecil.

Faktor yang biasanya berkontribusi pada **kekasaran permukaan alami** diantaranya:

1. Terjadinya getaran atau chatter pada mesin
2. Ketidakakuratan dalam pergerakan mesin seperti pergerakan turret yang tidak mulus
3. Ketidakteraturan pada mekanisme pemberian pemakanan
4. Cacat pada struktur bahan kerja
5. Pembentukan serpihan yang tidak beraturan saat memotong bahan rapuh
6. Robekan pada bahan kerja saat logam ulet dipotong pada kecepatan potong rendah
7. Kerusakan permukaan yang disebabkan oleh faktor-faktor seperti aliran serpihan

Dari tabel dibawah ini tentang tingkatan kekasaran permukaan maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai Ra maka nilai grade number akan menjadi besar juga, begitupun sebaliknya.

Tabel 1: Rouhness Grade Number

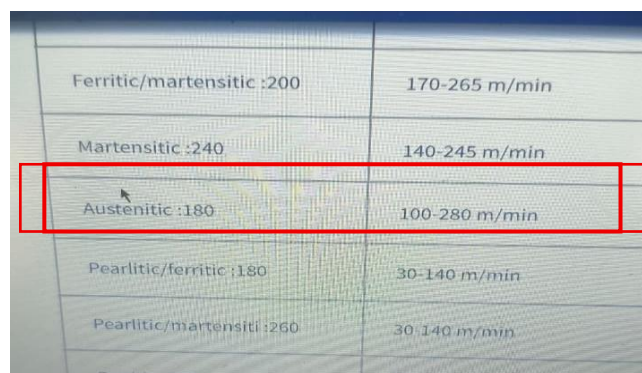
<i>Roughness values $R_a \mu m$</i>	<i>Roughness grade number</i>	<i>Roughness grade symbol</i>
50	N12	~
25	N11	▽
12.5	N10	
6.3	N9	
3.2	N8	
1.6	N7	▽▽
0.8	N6	
0.4	N5	
0.2	N4	
0.1	N3	▽▽▽▽
0.05	N2	
0.025	N1	

3. Variabel Kontrol

Menurut (Dr. Paryanto, S.Pd., M.Pd., dkk. 2024) pada buku *Teknik Pemesinan Bubut*, Beberapa parameter pemotongan yang digunakan pada mesin bubut, diantaranya: kecepatan putaran mesin, kecepatan potong/cutting speed, kecepatan pemakanan/ feedrate, kedalaman potong/depth of cut. Selain itu hasil pembubutan dipengaruhi oleh geometri pahat seperti: Sudut beram (rake angle), sudut bebas (clearance angle), sudut sisi potong (cutting edge angle) serta radius tool.

Pada penelitian ini akan menggunakan parameter sesuai standar dan perhitungan yang berlaku yaitu:

1. **Cutting speed (Vc)** yang digunakan sesuai dengan ketentuan ISCAR sebesar 100-280 m/min. Namun, pada penelitian yang akan dilakukan menggunakan nilai Vc sebesar 100 m/min.



Ferritic/martensitic :200	170-265 m/min
Martensitic :240	140-245 m/min
Austenitic :180	100-280 m/min
Pearlitic/ferritic :180	30-140 m/min
Pearlitic/martensitic :260	30-140 m/min
Ferritic :160	

Gambar 1 : Cutting Speed standar ISCAR

2. Spindle 1676 Rpm searah jarum jam

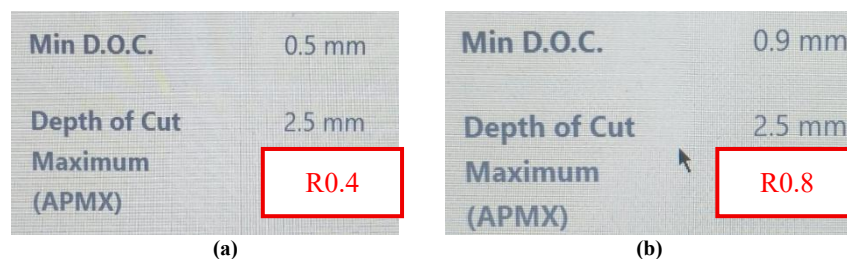
Untuk menghitung nilai n atau Spindle mesin dapat dihitung dengan rumus:

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times d}$$

Ket : V_c (kecepatan makan) = 100 m/min
 π = 3.14
 d (diameter) = Ø19mm
 1000 dikarenakan dalam perhitungan skala mm

3. Kedalaman Potong 1 mm

Dipilih 1mm dikarenakan menyesuaikan standart ISCAR yang ada



Gambar 2 : Kedalaman Potong standar ISCAR (a) R0,4 dan (b) R0,8

2.3 Alat dan Bahan Penelitian

Tabel 2 : Alat dan Bahan Penelitian

No	Kategori	Gambar	Spesifikasi
1	Mesin CNC Turning		Mesin yang digunakan dalam proses pembubutan adalah Mori Seiki Frontier-L dengan Fanuc 0i-TF control
2	Program CNC Turning		Pemograman pada proses pembubutan nantinya, akan dibuat dengan bantuan Mastercam X5

3	Material Uji		Pada proses pengujian akan menggunakan material SUS 304 Ø19mm dengan panjang pembubutan adalah 15mm. Dengan total kombinasi adalah 6 dan replikasi yang dilakukan sebanyak 3x, maka akan membutuhkan 18pcs spesimen uji.
4	Insert		Insert yang digunakan pada pengujian merupakan produk buatan ISCAR dengan kode insert adalah: 1. VCMT 160404-SM IC907 untuk R0.4 2. VCMT 160408-SM IC907 untuk R0.8
5	Holder Tool		Holder tool ini dipakai sebagaiudukan insert yang akan digunakan
6	Vernier Caliper digital		Sebagai alat ukur yang digunakan untuk mengukur diameter dan panjang spesimen pada saat proses pembubutan. Merk yang digunakan adalah Insize dengan panjang 200mm
7	Surface Roughness Tester		Alat ini digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan (Ra) dari spesimen yang sudah dibubut sebelumnya. Merek yang digunakan adalah Mitutoyo SJ-210

8	Coolant/ Cairan Pendingin		Coolant sebagai cairan pendingin yang digunakan pada Mesin CNC Turning. Merk yang digunakan adalah United Oil
---	------------------------------	---	---

2.4 Alur Penelitian



Gambar 3: Alur Penelitian

2.5 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Analysis of Variance (ANOVA) Two-Way dengan replikasi. Metode ini dipilih karena penelitian ini memiliki 2 variabel bebas, yaitu nose radius (r) dan feed rate (f), yang diduga memengaruhi 1 variabel terikat, yaitu kekasaran permukaan (R_a). Tujuan utama ANOVA adalah untuk menguji secara statistik:

- Apakah nose radius berpengaruh signifikan terhadap nilai Kekasaran Permukaan R_a ?
- Apakah feed rate berpengaruh signifikan terhadap nilai Kekasaran Permukaan R_a ?
- Apakah terdapat interaksi signifikan antara nose radius dan feed rate terhadap nilai Kekasaran Permukaan R_a ?

Menurut (*Rifka Alkhilyatul Ma'rifat, I Made Suraharta 2024*), adapun hal-hal yang harus dilakukan pada saat menganalisis data menggunakan ANOVA Two-Way diantaranya :

1. Menyusun Hipotesis Statistik

Analisis varian digunakan untuk menguji hipotesis tentang perbedaan dua faktor berbeda yang dapat ditulis sebagai berikut :

a. Hipotesis untuk Faktor A (Radius):

H_0 : Tidak ada perbedaan rata-rata R_a pada semua level radius

H_1 : Terdapat perbedaan rata-rata R_a pada semua level radius

b. Hipotesis untuk Faktor B (Feed):

H_0 : Tidak ada perbedaan rata-rata R_a pada semua level feedrate

H_1 : Terdapat perbedaan rata-rata R_a pada semua level feedrate

c. Hipotesis untuk Interaksi A dan B:

H_0 : Tidak ada interaksi antara radius dan feed terhadap R_a .

H_1 : Terdapat interaksi antara radius dan feed terhadap R_a .

2. Perhitungan Statistik Uji

Menyusun data pada tabel dalam bentuk ANOVA dua arah :

Tabel 3: Tabel data faktor yang diukur

Baris A	Kolom B						Total
	1	2	...	j	...	c	
1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1j}	...	X_{1c}	$T_{1.}$
2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2j}	...	X_{2c}	$T_{2.}$
.	.	.		.		.	.
.	.	.		.		.	.
.	.	.		.		.	.
i	X_{i1}	X_{i2}	...	X_{ij}	...	X_{ic}	$T_{i.}$
.	.	.		.		.	.
.	.	.		.		.	.
.	.	.		.		.	.
r	X_{r1}	X_{r2}	...	X_{rj}	...	X_{rc}	$T_{r.}$
Total	$T_{.1}$	$T_{.2}$	...	$T_{.j}$	...	$T_{.c}$	$T_{..}$

- Menghitung rata-rata baris ke-i :

$$\mu_{i.} = \frac{\sum_{j=1}^c \mu_{ij}}{c} \quad SS_A = \sum_{i=1}^r \frac{T_i^2}{c} - \frac{T^2}{rc}$$

- Menghitung rata-rata kolom ke-j :

$$\mu_{.j} = \frac{\sum_{i=1}^r \mu_{ij}}{r} \quad SS_B = \sum_{j=1}^c \frac{T_j^2}{r} - \frac{T^2}{rc}$$

- Menghitung rata-rata total :

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \mu_{ij}}{rc} \quad SS_{Total} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c x_{ij}^2 - \frac{T^2}{rc}$$

$$SS_{AB} = SS_T - SS_A - SS_B$$

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB}$$

3. Menyusun Tabel Anova

Tabel 4: Tabel ANOVA dua arah

Data	Sum of Squares	df	Mean Square	F Hitung	P Value	F Tabel
Radius (A)	SS_A	$r - 1$	$\frac{SS_A}{df_A}$	$\frac{MS_A}{MS_E}$	$= F. INV. RT (0,05; df_1; df_2)$	$= F. DIST. RT (F_A; df_1; df_2)$
Feedrate (B)	SS_B	$c - 1$	$\frac{SS_B}{df_B}$	$\frac{MS_B}{MS_E}$	$= F. INV. RT (0,05; df_1; df_2)$	$= F. DIST. RT (F_B; df_1; df_2)$
Interaksi (AB)	SS_{AB}	$(r - 1)(c - 1)$	$\frac{SS_{AB}}{df_{AB}}$	$\frac{MS_{AB}}{MS_E}$	$= F. INV. RT (0,05; df_1; df_2)$	$= F. DIST. RT (F_{AB}; df_1; df_2)$
Error (E)	SS_E	$rc(n - 1)$	$\frac{SS_E}{df_E}$			
Total (T)	SS_T	$N - 1$				

4. Kriteria Pengambilan Keputusan

Keputusan untuk menerima atau menolak H_0 dilakukan dengan membandingkan nilai statistik uji $\left(\frac{F_{hitung}}{F_0}\right)$ dengan nilai F_{tabel} untuk membuat keputusan menggunakan dasar :

- Jika nilai $F_{hitung} \leq F_{tabel}$, maka hipotesis H_0 diterima yang tidak terdapat perbedaan nilai rata-rata antar kategori/level faktor.
- Jika nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka hipotesis H_0 ditolak yang berarti terdapat perbedaan dua nilai rata-rata antar kategori/level faktor.
- Jika nilai Sign./P.Value $> 0,05$ (α), maka hipotesis H_0 diterima yang berarti tidak terdapat perbedaan nilai rata-rata antar kategori/level faktor.
- Jika nilai Sign./P.Value $< 0,05$ (α), maka hipotesis H_0 ditolak yang berarti terdapat perbedaan dua nilai rata-rata antar kategori/level faktor.

3 Analisa Data dan Pembahasan

Setelah proses pembubutan 18 sampel uji pada Mesin CNC Turning selesai dilakukan, maka dilanjutkan dengan proses pengukuran menggunakan mesin surface roughness tester. Pengukuran dilakukan dengan 3x replikasi pada masing-masing sampel uji tersebut.

Secara teori, penggunaan kombinasi R0,4 dan f0,2 akan menghasilkan nilai kekasaran yang paling tinggi, sedangkan kombinasi R0,8 dan f0,1 akan menghasilkan nilai kekasaran yang jauh lebih rendah.

Berikut hasil dari pengukuran 18 sampel dengan 3x replikasi:

3.1 Data Primer Hasil Pengukuran

Tabel 5: Data Primer Hasil Pengukuran

	No Sampel	Radius Tool (mm)	Feedrate (mm/rev)	Replikasi 1 (Ra)	Replikasi 2 (Ra)	Replikasi 3 (Ra)	Rata-Rata Replikasi (Ra)
Kombinasi 1	1	R0,4	f0,1	1,839	1,832	1,829	1,833
	2	R0,4	f0,1	1,841	1,838	1,839	1,839
	3	R0,4	f0,1	1,837	1,835	1,840	1,837
Kombinasi 2	4	R0,4	f0,15	1,930	1,930	1,945	1,935
	5	R0,4	f0,15	1,940	1,925	1,940	1,935
	6	R0,4	f0,15	1,938	1,940	1,936	1,938
Kombinasi 3	7	R0,4	f0,2	2,905	2,907	2,904	2,905
	8	R0,4	f0,2	2,912	2,917	2,914	2,914
	9	R0,4	f0,2	2,902	2,903	2,907	2,906
Kombinasi 4	10	R0,8	f0,1	0,937	0,936	0,934	0,936
	11	R0,8	f0,1	0,939	0,938	0,940	0,939
	12	R0,8	f0,1	0,933	0,936	0,939	0,936
Kombinasi 5	13	R0,8	f0,15	0,839	0,851	0,850	0,847
	14	R0,8	f0,15	0,819	0,815	0,816	0,817
	15	R0,8	f0,15	0,838	0,840	0,838	0,839

Kombinasi 6	16	R0,8	f0,2	0,938	0,943	0,939	0,940
	17	R0,8	f0,2	0,945	0,942	0,947	0,945
	18	R0,8	f0,2	0,947	0,941	0,946	0,945

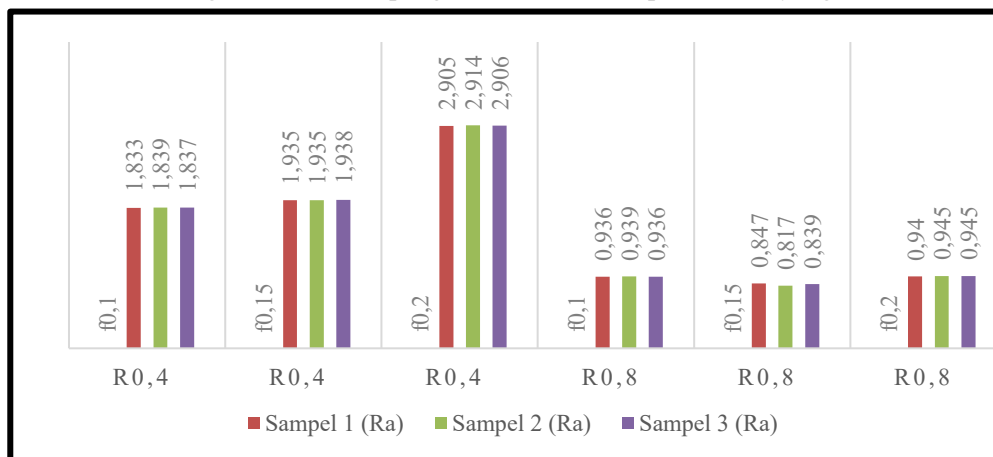
Kemudian, data-data tersebut dipersingkat lagi dengan hanya mengambil nilai rata-rata saja, agar memudahkan dalam menganalisa data menjadi seperti berikut:

Tabel 6: Hasil Pengukuran Rata-Rata Sampel Uji

	No Sampel	Radius Tool (mm)	Feedrate (mm/rev)	Rata-Rata Replikasi (Ra)
Kombinasi 1	1	R0,4	f0,1	1,833
	2	R0,4	f0,1	1,839
	3	R0,4	f0,1	1,837
Kombinasi 2	4	R0,4	f0,15	1,935
	5	R0,4	f0,15	1,935
	6	R0,4	f0,15	1,938
Kombinasi 3	7	R0,4	f0,2	2,905
	8	R0,4	f0,2	2,914
	9	R0,4	f0,2	2,906
Kombinasi 4	10	R0,8	f0,1	0,936
	11	R0,8	f0,1	0,939
	12	R0,8	f0,1	0,936
Kombinasi 5	13	R0,8	f0,15	0,847
	14	R0,8	f0,15	0,817
	15	R0,8	f0,15	0,839

Kombinasi 6	16	R0,8	f0,2	0,940
	17	R0,8	f0,2	0,945
	18	R0,8	f0,2	0,945

Berikut bentuk grafik dari hasil pengukuran kekasaran permukaan yang telah dilakukan:



Gambar 4: Grafik Nilai Kekasaran dari 6 Kombinasi

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, **kombinasi R0,4 dan f0,2 memang menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih tinggi**, nilai ini sesuai dengan teori perhitungan yang ada. Akan tetapi pada **kekasaran permukaan yang lebih rendah, nilai tersebut dihasilkan oleh kombinasi R0,8 dan f0,15** bukan kombinasi R0,8 dan f0,1. Temuan ini menunjukkan adanya perbedaan hasil dengan teori perhitungan yang ada. Oleh karena itu, penelitian yang lebih mendalam harus dilakukan agar dapat mengetahui faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi hasil dari nilai kekasaran permukaan benda tersebut.

3.2 Perhitungan Statistik uji ANOVA Two-Way

Dari data nilai pengukuran pada tabel diatas, maka dilakukan perhitungan statistik uji untuk mendapatkan data yang dibutuhkan pada ANOVA Two-Way

Tabel 7: Pengukuran Total Nilai Kekasaran

Radius	Feedrate			Total
	f0,1	f0,15	f0,2	
R0,4	1,833	1,935	2,905	6,674
R0,4	1,839	1,935	2,914	6,689
R0,4	1,837	1,938	2,904	6,679
R0,8	0,936	0,847	0,940	2,722
R0,8	0,939	0,817	0,945	2,700
R0,8	0,936	0,839	0,945	2,719
Total	8,321	8,310	11,553	28,184

$$SS_{Total} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c x_{ij}^2 - \frac{T^2}{rc} = 1,833^2 + 1,839^2 + \dots + 0,945^2 - \frac{28,184^2}{18} = 9,98681$$

$$SS_A = \sum_{i=1}^r \frac{T_i^2}{c} - \frac{T^2}{rc} = \frac{6,674^2 + 6,689^2 + 6,679^2 + 2,722^2 + 2,700^2 + 2,719^2}{3} - \frac{28,184^2}{18} = 7,86193$$

$$SS_B = \sum_{j=1}^c \frac{T_j^2}{r} - \frac{T^2}{rc} = \frac{8,321^2 + 8,310^2 + 11,553^2}{6} - \frac{28,184^2}{18} = 1,16461$$

$$SS_{AB} = SS_T - SS_A - SS_B = 9,98681 - 7,86193 - 1,16461 = 0,95968$$

$$SS_{Error} = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB} = 9,98681 - 7,86193 - 1,17231 - 0,95968 = 0,00059$$

Menghitung Mean Square (MS)

$$MS_A = \frac{SS_A}{a-1} = \frac{7,86193}{1} = 7,86193$$

$$MS_B = \frac{SS_B}{b-1} = \frac{1,16461}{2} = 0,58230$$

$$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)} = \frac{0,95968}{2} = 0,47984$$

$$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n-1)} = \frac{0,00059}{12} = 0,00005$$

Menghitung F Hitung (F)

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_E} = \frac{7,86193}{0,00005} = 159723,26862$$

$$F_B = \frac{MS_B}{MS_E} = \frac{0,58230}{0,00005} = 11830,09819$$

$$F_{AB} = \frac{MS_{AB}}{MS_E} = \frac{0,47984}{0,00005} = 9748,43002$$

Dari perhitungan statistik ini, kemudian dimasukkan kedalam tabel ANOVA Two-Way agar data yang telah dihitung menjadi lebih jelas, bisa dilihat dari tabel dibawah ini:

Tabel 8: Tabel Hasil Uji ANOVA Dua Arah

Data	SS	df	MS	F Hitung	P Value	F Tabel
Radius (A)	7,86193	1	7,86193	159723,26862	4,05517E-26	4,74723
Feedrate (B)	1,16461	2	0,58302	11830,09819	1,6969E-20	3,88529
Interaksi (AB)	0,95968	2	0,48048	9748,43002	5,41622E-20	3,88529
Error (E)	0,00059	12	0,00005			
Total (T)	9,98681	17				

Dari tabel ini, bisa kita ambil keputusan bahwasanya:

1. Faktor Radius (A)

Nilai $F_{159723,26862} > F_{4,74723}$, maka hipotesis H_0 ditolak yang berarti variasi radius tool berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan

Nilai $P_{4,05517E-26} < 0,05 (\alpha)$, maka hipotesis H_0 ditolak yang berarti variasi radius tool berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan

2. Faktor Feedrate (B)

Nilai $F_{11830,09819} > F_{3,88529}$, maka hipotesis H_0 ditolak yang berarti variasi feedrate berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan

Nilai $P_{1,6969E-20} < 0,05 (\alpha)$, maka hipotesis H_0 ditolak yang berarti variasi feedrate berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan

3. Interaksi Faktor Radius dan Feedrate (A dan B)

Nilai $F_{9748,43002} > F_{3,88529}$, maka hipotesis H_0 ditolak yang berarti variasi radius tool dan feedrate berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan

Nilai $P_{5,41622E-20} < 0,05 (\alpha)$, maka hipotesis H_0 ditolak yang berarti variasi radius tool dan feedrate berpengaruh signifikan terhadap kekasaran permukaan

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada proses pembubutan CNC dengan menggunakan material SUS 304 dan 2 faktor uji yaitu 2 radius serta 3 feedrate, diperoleh hasil yang menunjukkan bahwasanya masing-masing faktor memiliki pengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan. Berdasarkan data penelitian, **penggunaan insert dengan radius 0,8 mm menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih rendah dibandingkan radius 0,4 mm**, sehingga mampu menghasilkan permukaan benda kerja yang lebih halus, Sementara **semakin besar nilai feed rate yang digunakan maka peningkatan nilai kekasaran permukaan pun mengalami peningkatan**. Selain itu, dari hasil penelitian yang telah dilakukan, **kombinasi R0,4 dan f0,2 memang menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih tinggi** dan nilai tersebut sesuai dengan teori perhitungan yang ada. Akan tetapi pada **kekasaran permukaan yang lebih rendah, nilai tersebut dihasilkan oleh kombinasi R0,8 dan f0,15** bukan kombinasi R0,8 dan f0,1. Temuan ini menunjukkan adanya perbedaan hasil dengan teori perhitungan yang ada. Oleh karena itu, penelitian yang lebih mendalam harus dilakukan agar dapat mengetahui faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi hasil dari nilai kekasaran permukaan benda tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] 2024 Dr. Paryanto, S.Pd., M.Pd., dkk., *Teknik Pemesinan Bubut*. 2024.
- [2] L. Armaijn, D. Darmayanti, B. Sonia, dan H. Rochmat, *NC/CNC & CAM*, vol. 2. 2024.
- [3] Lipi Cendana Sitepu, “Analisis Tingkat Kekasaran Permukaan Pada Hasil Permesinan Mesin Mini Milling Dengan Variasi Putaran Pada Proses Pengerjaan Plat Dwikutub,” hal. 20, 2025, Diakses: 4 Mei 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/27981>
- [4] C. BAHRI, “Efek Kecepatan Pemotongan Pada Proses Bubut Baja St 41 Terhadap Kekasaran Permukaan Menggunakan Pahat Karbida Dengan Sudut Mata Pahat Berbeda,” hal. 1, 2024, Diakses: 4 Mei 2026. [Daring]. Tersedia pada: <http://repository.uisu.ac.id/handle/123456789/3787>
- [5] D. C. Sinaga, “Pengaruh Kedalaman Potong dan Susdut Mata Pahat Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan Pada Proses Pembubutan,” *J. Ilm. Indones.*, vol. 5, no. 9, hal. 8, 2025, [Daring]. Tersedia pada: <http://cerdika.publikasiindonesia.id/index.php/cerdika/index>
- [6] Z. A. M. Tagiuri, T. M. Dao, A. M. Samuel, dan V. Songmene, “A Numerical Model for Predicting the Effect of Tool Nose Radius on Machining Process Performance during Orthogonal Cutting of AISI 1045 Steel,” *Materials (Basel)*, vol. 15, no. 9, hal. 23, Mei 2022, doi: 10.3390/ma15093369.
- [7] Sugiono, *Metode Penelitian Kuantitatif*, 2013 ed. ALPHABETA, 2019. [Daring]. Tersedia pada: <https://archive.org/search.php?query=external-identifier%3A%22urn%3Alcp%3Abuku-metode-penelitian-sugiyono%3Aepub%3Add1a0bf5-5f3b-4787-9bbb-e1efb3dd60d9%22>
- [8] Boothroyd G.G. & Knight, *Fundamentals of Machining and Machine Tools Third Edition*, 2nd Editio. Marcel Dekker, 2006. Diakses: 4 Mei 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://share.google/v8R1vjqq6CkdUKBIF>
- [9] I. I. J. Rifka Alkhilyatul Ma'rifat, I Made Suraharta, *PENGANTAR STATISTIKA : Konsep Dasar untuk Analisa Dat*, 2024 ed., vol. 2. 2024. [Daring]. Tersedia pada: https://www.researchgate.net/publication/377967864_PENGANTAR_STATISTIK_Analisis_Varian_ANOVA