

Analisis Annealing dan Turning Terhadap Nilai Kekasaran Baja Karbon

Zamri Zaidi *¹
Suhardiman ²

^{1,2} Politeknik Negeri Bengkalis

*e-mail: zamrizaidi94@gmail.com¹, suhardiman@polbeng.ac.id²

Abstrak

Dalam ilmu metalurgi dan material, annealing adalah proses perlakuan panas yang mengubah sifat fisik suatu material, seperti kekuatan, kekerasan, dan kemampuan mesin. Dimana annealing melibatkan pemanasan bahan di atas suhu rekristalisasi, kemudian menahannya pada suhu yang sesuai untuk beberapa saat, lalu mendinginkannya kembali secara perlahan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan nilai dari variasi rpm terhadap variasi suhu heat treatment yang memiliki tingkat kekasaran terendah dan tertinggi pada spesimen. Metode pengumpulan data dilakukan pada penelitian ini adalah metode eksperimental, metode dilakukan sepenuhnya pada variabel-variabel yang mempengaruhi akibat dari proses pemanasan (heat treatment) terhadap baja karbon dan kecepatan spindel dalam proses pembubutan. Kekasaran paling rendah terdapat pada kecepatan spindel 600 rpm, suhu 600°C sebesar 5,17 dan kekasaran paling tinggi terdapat pada kecepatan spindel 200 rpm, suhu 900°C dengan kekasaran sebesar 10,63 µm.

Kata kunci: Annaelaing, Baja Karbon, Heat Treatment, Pembubutan

Abstract

In metallurgy and materials science, annealing is a heat treatment process that alters the physical properties of a material, such as strength, hardness, and machinability. Annealing involves heating the material above its recrystallization temperature, holding it at an appropriate temperature for a certain period, and then slowly cooling it down. The purpose of this research is to compare the values of different spindle speeds (rpm) and heat treatment temperatures to determine which combination results in the lowest and highest surface roughness on the specimens. The data collection method used in this research is experimental, focusing entirely on the variables that affect the heat treatment process on low carbon steel and spindle speed during turning. The lowest surface roughness was observed at a spindle speed of 600 rpm and a temperature of 600°C, with a roughness value of 5.17 µm. The highest surface roughness was observed at a spindle speed of 200 rpm and a temperature of 900°C, with a roughness value of 10.63 µm.

Keywords: Annealing, Carbon Steel, Heat Treatment, Turning

PENDAHULUAN

Baja karbon merupakan material logam yang banyak digunakan dalam berbagai industri, termasuk untuk pembuatan alat perkakas, alat pertanian, konstruksi, alat rumah tangga, dan komponen otomotif (Rizal, 2017). Salah satu metode yang umum diterapkan dalam pembentukan komponen dari baja karbon rendah adalah proses pembubutan. Baja karbon rendah dipilih karena struktur kristalnya yang lebih lembut, memudahkan proses pembubutan dibandingkan baja karbon tinggi. Namun, kualitas permukaan hasil pembubutan menjadi perhatian utama, terutama terkait dengan tingkat kekasaran permukaan.

Beberapa studi, seperti yang dilakukan oleh Listyawan (2018) dan Wasito (2018), menunjukkan bahwa keausan pahat HSS selama pembubutan berbanding lurus dengan peningkatan kekasaran permukaan. Selain itu, kecepatan spindel juga menjadi faktor signifikan yang mempengaruhi kualitas hasil pembubutan. Semakin tinggi kecepatan spindel, maka kualitas permukaan cenderung semakin halus, tetapi juga meningkatkan keausan pada pahat karena peningkatan suhu akibat gesekan (Fahroki dkk, 2017).

Kekasaran permukaan merupakan indikator penting dalam penilaian kualitas produk. Tingkat kekasaran yang rendah biasanya menunjukkan kualitas yang lebih baik, namun juga dapat mempercepat keausan komponen karena interaksi antar permukaan. Kekerasan material juga berpengaruh terhadap tingkat kekasaran; semakin tinggi kekerasan, biasanya kekasaran

permukaan akan meningkat (Rizal & Ismardi, 2017). Dalam konteks ini, annealing, sebagai salah satu proses perlakuan panas, dapat memodifikasi sifat mekanis baja karbon, termasuk kekerasan dan kekasaran permukaan. Annealing melibatkan pemanasan material hingga suhu di atas rekristalisasi, penahanan pada suhu tersebut, dan pendinginan perlahan, yang dapat mengubah struktur mikro material. Meskipun demikian, pemahaman tentang bagaimana perlakuan annealing mempengaruhi kekasaran dan kekerasan permukaan baja karbon masih terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh variasi suhu *annealing* dan kecepatan spindel terhadap kekasaran permukaan baja karbon St 48. Penelitian ini menggunakan spesimen baja karbon yang diuji untuk menentukan pengaruh perlakuan *annealing* terhadap kekasaran permukaan setelah proses pembubutan dengan berbagai kecepatan spindel dan pahat HSS.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk mengevaluasi pengaruh variasi suhu annealing dan kecepatan spindel terhadap kekasaran permukaan baja karbon St 48. Dalam proses penelitian, alat utama yang digunakan adalah *Surface Roughness Tester*, yang berfungsi untuk mengukur tingkat kekasaran permukaan setelah melalui proses heat treatment dan pembubutan.



Gambar 1. Alat Uji *Surface Roughness Tester*

Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi variasi suhu *annealing* yang terdiri dari empat tingkat suhu, yaitu 600°C, 700°C, 800°C, dan 900°C, serta kecepatan spindel yang digunakan dalam proses pembubutan dengan variasi 200 rpm, 300 rpm, 410 rpm, dan 600 rpm. Proses penelitian diawali dengan persiapan spesimen baja karbon St 48, yang kemudian dibersihkan menggunakan amplas dan pemoles sebelum dilakukan proses heat treatment. Spesimen tersebut kemudian dipanaskan dalam *furnace* hingga mencapai suhu yang ditentukan, dengan waktu penahanan selama 1 jam, dan didinginkan dalam tungku sampai mencapai suhu ruangan.

Setelah proses *annealing*, spesimen mengalami tahap pembubutan menggunakan pahat HSS dengan variasi kecepatan spindel yang telah ditentukan. Pengukuran kekasaran permukaan dilakukan menggunakan *Surface Roughness Tester*, dengan fokus pada parameter Ra (rata-rata aritmatika). Pengujian dilakukan pada empat sisi benda kerja, dan hasilnya dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh suhu annealing dan kecepatan spindel terhadap kekasaran permukaan baja karbon.

Data yang diperoleh dari hasil pengujian kekasaran permukaan dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif. Analisis ini bertujuan untuk memberikan gambaran tentang perubahan kekasaran permukaan spesimen baja karbon setelah melalui proses *heat treatment* dan pembubutan. Hasil analisis digunakan untuk menyimpulkan bagaimana variasi suhu annealing dan kecepatan spindel mempengaruhi kekasaran permukaan material yang diuji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja St 48, yang telah diuji tarik untuk memastikan karakteristiknya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa material ini memenuhi klasifikasi sebagai baja St 48 dengan kekuatan tarik sebesar 48 kg/mm².



Gambar 2. Material yang sudah diuji
Sumber: Dokumentasi pribadi

Penelitian ini memfokuskan pada analisis hubungan antara kecepatan putaran mesin terhadap kekasaran permukaan material yang telah mengalami proses annealing. Variasi kecepatan putaran yang digunakan meliputi 200 rpm, 300 rpm, 410 rpm, dan 600 rpm, dengan kecepatan potong tetap sebesar 0,18 mm/putaran. Kedalaman potong ditetapkan sebesar 1 mm, dan panjang pemakanan benda kerja adalah 16 mm. Tabel berikut menyajikan perhitungan kecepatan potong berdasarkan variasi kecepatan putaran mesin. Sebagai contoh, perhitungan untuk kecepatan potong pada putaran mesin 200 rpm dan diameter benda kerja 19 mm menghasilkan nilai 11,93 m/min.

Tabel 1. Perhitungan Kecepatan Potong

No	π	d(mm)	n(rpm)	Vc(m/min)
1	3,14	19	200	11,93
2		18	300	16,95
3		17	410	21,88
4		16	600	30,14

A. Hasil Pengujian Kekasaran

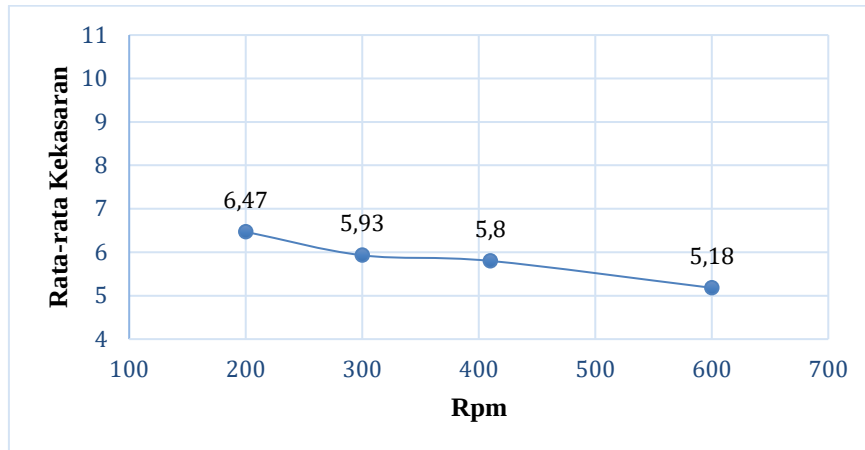
- Hasil Pengujian Kekasaran Suhu 600°C

Material baja St 48 yang mengalami proses annealing pada suhu 600°C kemudian dibubut menggunakan pahat High Speed Steel (HSS) pada berbagai kecepatan spindle, yaitu 200 rpm, 300 rpm, 410 rpm, dan 600 rpm. Proses pembubutan dilakukan dengan pendingin coolant, panjang pembubutan 16 mm, dan gerak makan 0,18 mm/putaran. Hasil pengujian menunjukkan variasi nilai kekasaran permukaan yang dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 3 di bawah ini.

Tabel 2. Rata-Rata Kekasaran Suhu 600°C

Suhu	Kecepatan Spindel (Rpm)	Titik 1 Ra (μ m)	Titik 2 Ra (μ m)	Titik 3 Ra (μ m)	Titik 4 Ra (μ m)	Rata-Rata Kekasaran Ra (μ m)
600°C	200	6,51	6,61	6,57	6,20	6,47 μ m
	300	6,15	5,99	5,88	5,69	5,93 μ m
	410	6,17	5,86	5,70	5,50	5,80 μ m

Suhu	Kecepatan	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Rata-Rata Kekasaran
	Spindel (Rpm)	Ra (μm)	Ra (μm)	Ra (μm)	Ra (μm)	Ra (μm)
	600	5,11	5,67	4,92	5,00	5,18 μm



Gambar 3. Grafik Rata-Rata Kekasaran Suhu 600°C

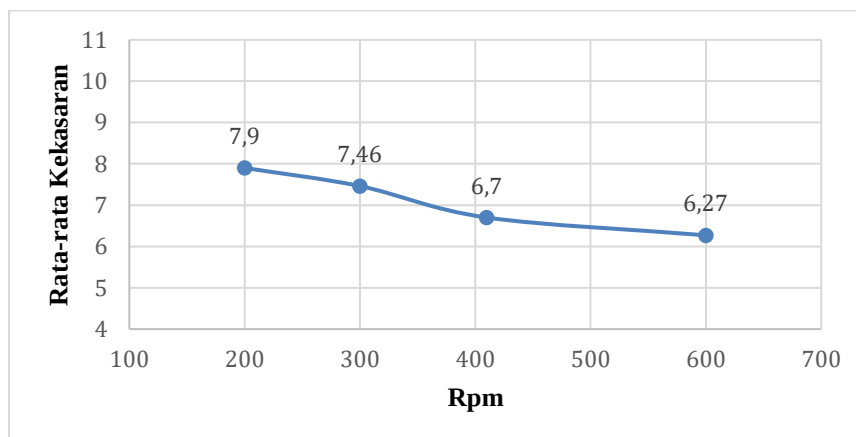
Berdasarkan data dalam Tabel 2 dan Gambar 3, nilai kekasaran permukaan paling rendah tercatat pada kecepatan spindle 600 rpm dengan rata-rata kekasaran 5,18 μm , sedangkan kekasaran tertinggi terjadi pada kecepatan 200 rpm dengan nilai rata-rata 6,47 μm . Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan spindle cenderung menurunkan kekasaran permukaan.

- Hasil Pengujian Kekasaran Suhu 700°C

Pada suhu 700°C, baja St 48 juga dibubut menggunakan pahat HSS dengan kecepatan spindle yang sama. Pengujian menghasilkan variasi nilai kekasaran permukaan seperti yang ditampilkan pada tabel dan gambar berikut.

Tabel 3. Rata-Rata Kekasaran Suhu 700°C

Suhu	Kecepatan	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Rata-Rata Kekasaran
	Spindel (Rpm)	Ra (μm)	Ra (μm)	Ra (μm)	Ra (μm)	Ra (μm)
700°C	200	7,70	7,95	8,00	7,95	7,90 μm
	300	7,80	7,50	7,25	7,28	7,46 μm
	410	6,60	6,61	6,70	6,90	6,70 μm
	600	6,29	6,25	6,24	6,29	6,27 μm



Gambar 4. Grafik Rata-Rata Kekasaran Suhu 700°C

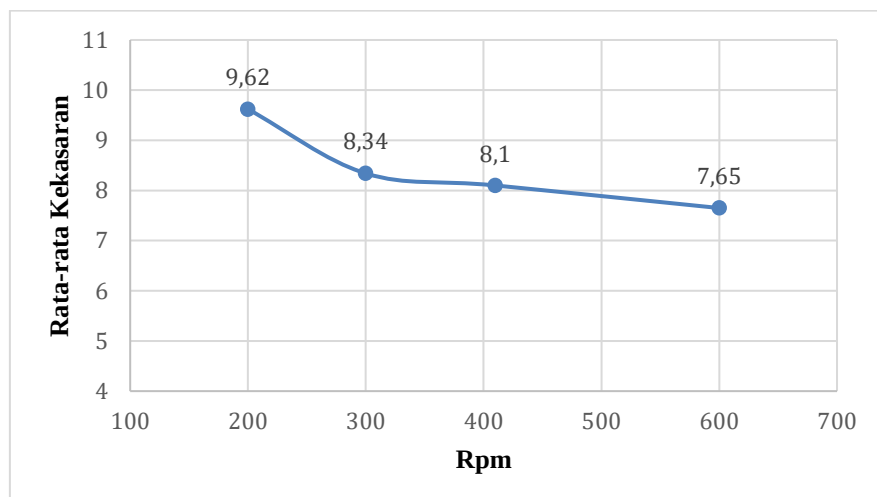
Mengacu pada sajian tabel dan gambar di atas, terlihat bahwa pada suhu 700°C, nilai kekasaran terendah juga terjadi pada kecepatan spindle 600 rpm dengan rata-rata kekasaran 6,27 μm , sementara kekasaran tertinggi tercatat pada kecepatan 200 rpm dengan nilai rata-rata 7,90 μm . Ini memperkuat tren bahwa kekasaran menurun seiring dengan meningkatnya kecepatan *spindle*.

- Hasil Pengujian Kekasaran Suhu 800°C

Pada suhu 800°C, hasil pengujian kekasaran menunjukkan variasi yang lebih besar, sebagaimana disajikan dalam Tabel 4 dan Gambar 5 berikut.

Tabel 4. Rata-Rata Kekasaran Suhu 800°C

Suhu	Kecepatan Spindel (Rpm)	Titik 1 Ra (μm)	Titik 2 Ra (μm)	Titik 3 Ra (μm)	Titik 4 Ra (μm)	Rata-Rata Kekasaran Ra (μm)
800°C	200	9,80	10,23	9,26	9,20	9,62 μm
	300	8,56	8,30	8,23	8,25	8,33 μm
	410	8,35	8,20	7,90	7,95	8,10 μm
	600	7,90	7,85	7,35	7,50	7,65 μm



Gambar 5. Grafik Rata-Rata Kekasaran Suhu 800°C

Sajian tabel 4 dan gambar 5 menunjukkan bahwa pada suhu 800°C, nilai kekasaran terendah masih ditemukan pada kecepatan spindle 600 rpm dengan rata-rata kekasaran 7,65 μm , sementara kekasaran tertinggi tercatat pada kecepatan 200 rpm dengan nilai rata-rata 9,62 μm . Peningkatan suhu hingga 800°C tampak memperbesar rentang nilai kekasaran permukaan. apabila diperlukan.

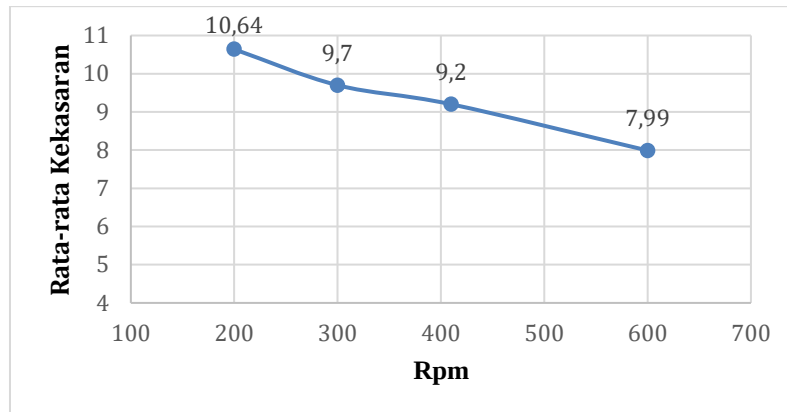
- Hasil Pengujian Kekasaran Suhu 900°C

Pada suhu tertinggi yang diuji, yaitu 900°C, hasil pengujian kekasaran permukaan menunjukkan pola variasi yang serupa, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.5 berikut.

Tabel 5. Rata-Rata Kekasaran Suhu 900°C

Suhu	Kecepatan Spindel (Rpm)	Titik 1 Ra (μm)	Titik 2 Ra (μm)	Titik 3 Ra (μm)	Titik 4 Ra (μm)	Rata-Rata Kekasaran Ra (μm)
	200	10,66	10,7	10,29	10,9	10,63
	300	10,12	9,95	9,25	9,49	9,70

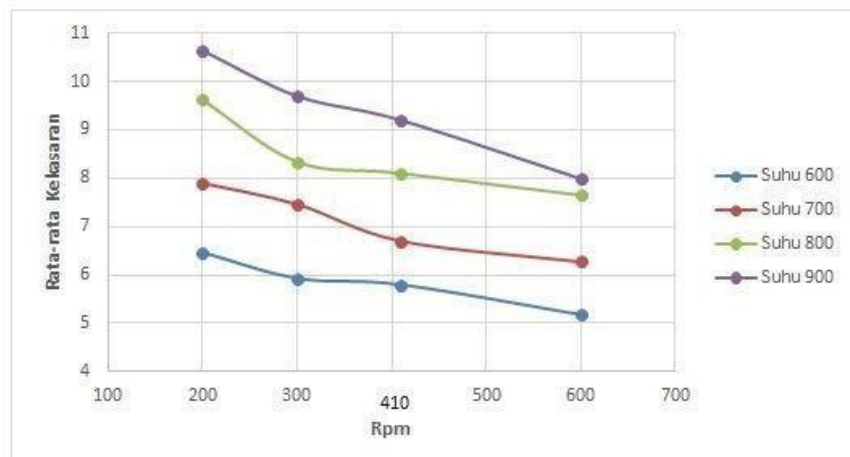
900°C	410	9,49	9,21	9,10	9,00	9,20
	600	8,20	7,75	7,90	8,12	7,99



Gambar 6. Grafik Rata-Rata Kekasaran Suhu 900°C

Berdasarkan data di tabel 5 dan gambar 6, pada suhu 900°C, nilai kekasaran permukaan paling rendah dicatat pada kecepatan spindle 600 rpm dengan nilai rata-rata 7,99 µm, sedangkan kekasaran tertinggi terjadi pada kecepatan 200 rpm dengan nilai rata-rata 10,63 µm. Pola ini konsisten dengan hasil sebelumnya, di mana peningkatan kecepatan spindle berhubungan dengan penurunan kekasaran permukaan.

B. Hasil Grafik Perbandingan Kekasaran Tiap Spesimen



Gambar 7. Grafik Perbandingan Kekasaran Rata-Rata

Berdasarkan grafik yang telah disajikan menunjukkan hasil bahwa peningkatan kecepatan putaran (rpm) secara konsisten menyebabkan penurunan kekasaran permukaan pada semua suhu yang diuji (600°C, 700°C, 800°C, dan 900°C). Pada suhu 600°C dan 700°C, penurunan kekasaran terjadi secara bertahap, dengan penurunan signifikan setelah 410 rpm, yang menunjukkan bahwa pada suhu-suhu ini, peningkatan kecepatan putaran dapat memperbaiki kualitas permukaan dengan mengurangi ketidakrataan. Namun, pada suhu yang lebih tinggi, seperti 800°C dan 900°C, kekasaran awal lebih tinggi, tetapi penurunan lebih tajam terjadi terutama antara 200 rpm dan 300 rpm. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu yang lebih tinggi, material menjadi lebih plastis, sehingga lebih mudah terbentuk permukaan yang lebih halus dengan peningkatan kecepatan putaran. Secara keseluruhan, semakin tinggi suhu annealing, semakin besar pengaruh peningkatan rpm terhadap penurunan kekasaran, meskipun pada suhu yang lebih rendah, pengaruhnya cenderung lebih moderat. Ini mengindikasikan bahwa dalam proses pembubutan pada kondisi tertentu, pengaturan kecepatan putaran harus disesuaikan dengan suhu material untuk mencapai hasil yang optimal dalam hal kualitas permukaan.

C. Hasil Pengambilan Data

Proses analisis kekasaran permukaan baja karbon yang telah melalui proses pembubutan dan annealing ini dilakukan dengan variasi suhu dan kecepatan putaran mesin bubut. Data kekasaran yang diperoleh kemudian dianalisis dengan fokus pada pengaruh kecepatan putaran (rpm) dan suhu annealing terhadap hasil kekasaran permukaan baja karbon.

- *Hasil Nilai Kekasaran pada Putaran 200 Rpm Terhadap Suhu*

Tabel 6. Nilai Perbandingan Kekasaran Putaran 200 rpm

Kecepatan Spindel (Rpm)	Suhu	Nilai Titik Rata-Rata $Ra(\mu m)$
200	600°C	6,47 μm
	700°C	7,90 μm
	800°C	9,62 μm
	900°C	10,63 μm

Berdasarkan data yang tercantum pada **tabel 6**, nilai kekasaran terendah dicapai pada baja karbon yang telah di-annealing pada suhu 600°C dan diproses dengan kecepatan putaran 200 rpm, yaitu sebesar 6,47 μm . Sedangkan, nilai kekasaran tertinggi terdapat pada suhu annealing 900°C dengan kecepatan putaran yang sama, yaitu sebesar 10,63 μm . Hal ini menunjukkan bahwa suhu annealing yang lebih tinggi cenderung meningkatkan kekasaran permukaan, terutama pada kecepatan putaran yang lebih rendah seperti 200 rpm. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa suhu *annealing* yang paling optimal pada putaran 200 rpm adalah 600°C, yang menghasilkan kekasaran permukaan terendah.

- *Hasil Nilai Kekasaran pada Putaran 300 Rpm Terhadap Suhu*

Pada kecepatan putaran 300 rpm, Tabel 7 menunjukkan bahwa kekasaran permukaan terendah juga dicapai pada suhu annealing 600°C dengan nilai 5,92 μm , sementara nilai tertinggi dicapai pada suhu 900°C dengan nilai kekasaran 9,70 μm .

Tabel 7. Nilai perbandingan kekasaran putaran 300 rpm

Kecepatan Spindel (Rpm)	Suhu	Nilai Titik Rata-Rata $Ra(\mu m)$
300	600°C	5,92 μm
	700°C	7,45 μm
	800°C	8,33 μm
	900°C	9,70 μm

Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan kecepatan putaran mesin bubut dapat menurunkan kekasaran permukaan, terutama ketika suhu annealing berada pada tingkat yang lebih rendah.

- *Hasil Nilai Kekasaran pada Putaran 410 Rpm Terhadap Suhu*

Pada putaran 410 rpm, sesuai dengan data pada Tabel 8 Nilai Perbandingan Kekasaran Putaran 410 Rpm, nilai kekasaran permukaan terus menurun pada suhu annealing 600°C, dengan nilai kekasaran sebesar 5,80 μm . Sementara itu, pada suhu annealing 900°C, nilai kekasaran tertinggi sebesar 9,20 μm .

Tabel 8. Nilai perbandingan kekasaran putaran 410 rpm

Kecepatan Spindel (Rpm)	Suhu	Nilai Titik Rata-Rata $Ra(\mu m)$
410	600°C	5,80 μm
	700°C	6,70 μm
	800°C	8,10 μm
	900°C	9,20 μm

Dengan kecepatan putaran yang lebih tinggi, baja karbon yang di-annealing pada suhu lebih rendah menghasilkan permukaan yang lebih halus.

- Hasil Nilai Kekasaran pada Putaran 600 Rpm Terhadap Suhu

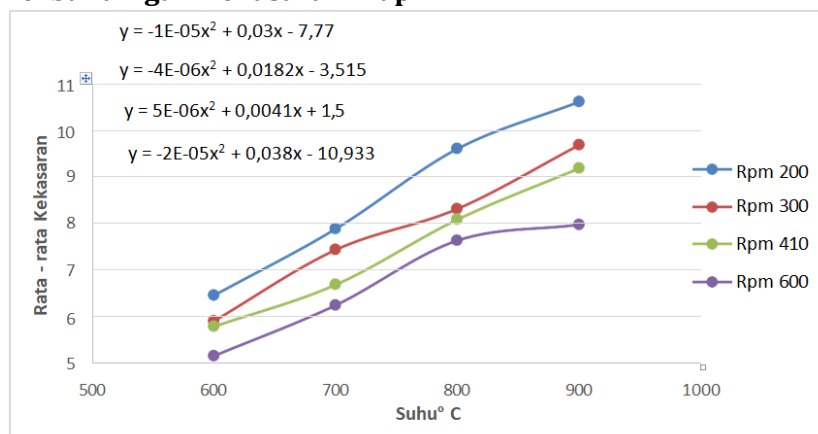
Dari tabel 9 dibawah, terlihat bahwa pada kecepatan putaran tertinggi yang diuji, yaitu 600 rpm, nilai kekasaran terendah diperoleh pada suhu annealing 600°C dengan nilai 5,17 μm . Sementara nilai tertinggi berada pada suhu annealing 900°C dengan kekasaran 7,99 μm .

Tabel 9. Nilai perbandingan kekasaran putaran 600 rpm

Kecepatan Spindel (Rpm)	Suhu	Nilai Titik Rata-Rata $Ra(\mu\text{m})$
600	600°C	5,17 μm
	700°C	6,26 μm
	800°C	7,65 μm
	900°C	7,99 μm

Peningkatan kecepatan putaran terbukti dapat menurunkan kekasaran permukaan, terutama pada suhu annealing yang lebih rendah, menunjukkan bahwa kombinasi optimal untuk kekasaran permukaan terendah adalah suhu annealing 600°C pada kecepatan putaran 600 rpm.

D. Grafik Perbandingan Kekasaran Tiap RPM



Gambar 8. Grafik Rata-Rata kekasaran Keseluruhan Rpm

Berdasarkan hasil pengujian, peningkatan suhu *annealing* dari 600°C hingga 900°C secara konsisten meningkatkan nilai kekasaran permukaan baja karbon St 48 pada berbagai kecepatan putaran mesin bubut, mulai dari 200 rpm hingga 600 rpm. Nilai kekasaran tertinggi terjadi pada suhu 900°C untuk setiap kecepatan putaran yang diuji. Namun, pada kecepatan putaran 600 rpm dan suhu annealing 600°C, nilai kekasaran permukaan terendah dicapai, yaitu 5,17 μm , yang menunjukkan bahwa kombinasi ini menghasilkan permukaan paling halus di antara variasi lainnya. Analisis ini menunjukkan bahwa suhu annealing yang lebih tinggi mengurangi kemampuan material untuk menghasilkan permukaan halus, terutama pada kecepatan putaran yang lebih rendah. Oleh karena itu, suhu 600°C dengan kecepatan putaran 600 rpm dapat dianggap sebagai kondisi optimal untuk meminimalkan kekasaran permukaan dalam proses pembubutan baja karbon St 48 setelah annealing.

E. Analisa Kekasaran Permukaan Menggunakan Anova

Analisis kekasaran permukaan dilakukan menggunakan perangkat lunak Minitab 22 dengan menerapkan metode ANOVA two way. Tujuannya adalah untuk menilai pengaruh

kecepatan putaran mesin bubut (rpm) dan suhu annealing terhadap kekasaran permukaan baja karbon St 48.

Tabel 10. *Analysis of Variance*

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	Kontribusi (%)
Rpm	3	7,4603	2,48677	28,25	0,000	20,15
Suhu	3	28,7745	9,59151	108,96	0,000	77,71
Error	9	0,7923	0,08803			2,14
Total	15	37,0271				100

Tabel di atas Menunjukkan hasil analisis varians yang mengevaluasi pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap kekasaran permukaan. Dalam tabel ini, terdapat beberapa sumber variasi: kecepatan putaran (rpm), *suhu annealing*, kesalahan, dan total variansi.

1. Kolom *Source*: Menunjukkan variabel yang berkontribusi terhadap variasi data. Dalam tabel ini, sumber variasi termasuk rpm, suhu, dan kesalahan.
2. Kolom *DF (Degrees of Freedom/Degree of Freedom)*, Mengindikasikan derajat kebebasan untuk setiap sumber variasi.
3. Jumlah Kuadrat yang Disesuaikan (Adj SS): Menyediakan informasi mengenai total variansi yang dapat dijelaskan oleh masing-masing sumber variasi.
4. Rata-rata Kuadrat yang Disesuaikan (Adj MS): Dihitung dengan membagi jumlah kuadrat yang disesuaikan dengan derajat kebebasan.
5. Nilai F (F-Value): Mengukur seberapa signifikan variabilitas antara kelompok dibandingkan dengan variabilitas dalam kelompok. Nilai F dihitung dengan membagi rata-rata kuadrat variabel independen dengan rata-rata kuadrat kesalahan.
6. Nilai P (P-Value): Menunjukkan tingkat signifikansi dari pengaruh variabel independen. Nilai P yang lebih kecil dari 0,05 menunjukkan bahwa efek tersebut signifikan secara statistik.

Berdasarkan tabel 10 di atas, suhu *annealing* menunjukkan kontribusi yang paling besar terhadap variasi kekasaran permukaan dengan nilai kontribusi sebesar 77,71%, dibandingkan dengan kecepatan putaran yang memberikan kontribusi sebesar 20,15%. Ini mengindikasikan bahwa suhu annealing memiliki pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan kecepatan putaran pada kekasaran permukaan. Nilai P untuk kedua variabel ini sangat kecil ($p < 0,05$), menandakan bahwa pengaruh keduanya signifikan. Namun, pengaruh suhu *annealing* jauh lebih dominan dibandingkan kecepatan putaran.

Tabel 11. *Coefficients*

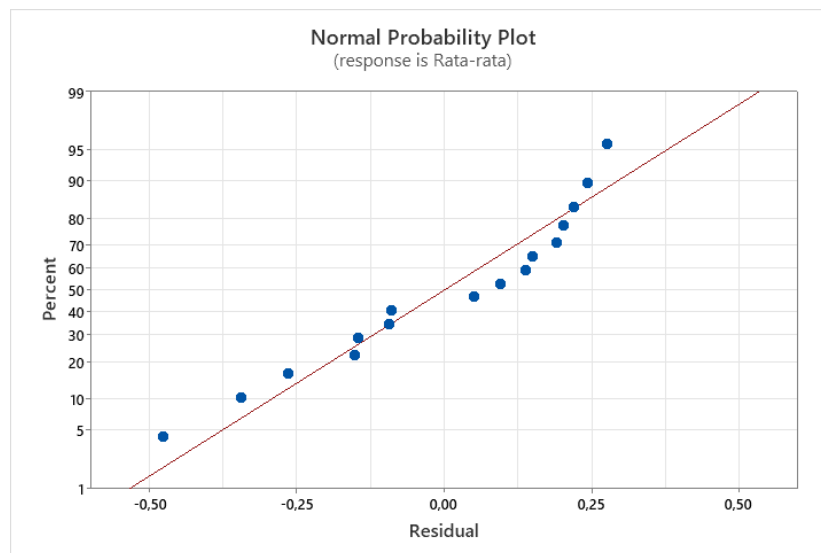
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	7,6806	0,0742	103,55	0,000	
Rpm					
200	0,974	0,128	7,58	0,000	1,50
300	0,169	0,128	1,32	0,220	1,50
410	-0,231	0,128	-1,80	0,106	1,50
Suhu					
600°C	-1,841	0,128	-14,33	0,000	1,50
700°C	-0,603	0,128	-4,69	0,001	1,50
800°C	0,744	0,128	5,79	0,000	1,50

Tabel 11 menyajikan koefisien regresi untuk model linier yang mencakup variabel kecepatan putaran dan suhu annealing. Penjelasan dari tabel ini meliputi:

1. **Term**: Menunjukkan variabel dalam model, termasuk konstanta, kecepatan putaran (200 rpm, 300 rpm, 410 rpm), dan suhu (600°C, 700°C, 800°C).

2. **Koefisien (Coef):** Mengindikasikan hubungan antara variabel independen dan variabel dependen. Koefisien positif pada 200 rpm menunjukkan peningkatan kekasaran, sedangkan koefisien negatif pada suhu 600°C dan 700°C menunjukkan penurunan signifikan dalam kekasaran permukaan.
3. **Standard Error of Coefficient (SE Coef):** Menunjukkan ketidakpastian dalam estimasi koefisien.
4. **Nilai t (T-Value):** Digunakan untuk menguji signifikansi statistik setiap koefisien. Nilai t yang tinggi menunjukkan koefisien signifikan.
5. **Nilai P (P-Value):** Menunjukkan signifikansi statistik koefisien; nilai P di bawah 0,05 menunjukkan signifikansi.
6. **Variance Inflation Factor (VIF):** Mengukur multikolinearitas antar variabel independen; nilai VIF di bawah 10 menunjukkan tidak ada masalah serius dengan multikolinearitas.

Merujuk pada tabel 11 juga, koefisien untuk suhu 600°C menunjukkan dampak terbesar terhadap pengurangan kekasaran, sedangkan kecepatan putaran 200 rpm menunjukkan peningkatan signifikan pada kekasaran permukaan. Nilai P untuk suhu menunjukkan signifikansi yang kuat, sedangkan kecepatan putaran 300 rpm dan 410 rpm tidak signifikan.



Gambar 9. Normal Probability Plot

Grafik di atas menunjukkan bahwa sebagian besar data berdistribusi normal, meskipun terdapat beberapa penyimpangan pada ujung-ujung grafik. Penyimpangan ini terlihat pada residual sekitar -0,50 hingga -0,25 di bagian bawah dan 0,25 hingga 0,50 di bagian atas. Secara keseluruhan, distribusi data masih dapat dianggap normal. Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa suhu annealing memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap kekasaran permukaan dibandingkan kecepatan putaran mesin bubut. Suhu annealing yang lebih rendah cenderung menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih halus.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa kekasaran permukaan benda kerja dipengaruhi secara signifikan oleh kecepatan putaran spindel dan suhu annealing. Pertama, kecepatan putaran spindel menunjukkan pengaruh positif terhadap kekasaran permukaan. Pada suhu 600°C, kekasaran permukaan menurun seiring dengan peningkatan kecepatan putaran spindel. Misalnya, pada kecepatan 200 rpm, kekasaran permukaan mencapai 6,47 μm , sedangkan pada kecepatan 600 rpm, nilai kekasaran menurun menjadi 5,17 μm . Temuan ini mengindikasikan bahwa kecepatan potong yang lebih tinggi menghasilkan geram yang lebih tipis dan permukaan yang lebih halus, karena pahat memotong lebih efisien pada kecepatan yang lebih tinggi.

Kedua, suhu annealing juga berkontribusi signifikan terhadap kekasaran permukaan. Pada kecepatan putaran spindel 600 rpm, kekasaran permukaan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu annealing. Kekasaran permukaan pada suhu 600°C adalah 5,17 μm , yang meningkat menjadi 7,99 μm pada suhu 900°C. Hal ini menunjukkan bahwa suhu yang lebih tinggi cenderung memperburuk kekasaran permukaan, mungkin karena perubahan struktur material atau peningkatan ekspansi termal pada suhu yang lebih tinggi.

Secara keseluruhan, kekasaran permukaan terendah dicapai pada kecepatan putaran spindel 600 rpm dan suhu 600°C, dengan nilai kekasaran 5,17 μm . Sebaliknya, kekasaran permukaan tertinggi ditemukan pada kecepatan putaran spindel 200 rpm dan suhu 900°C, mencapai 10,63 μm . Kesimpulan ini menegaskan bahwa baik kecepatan putaran spindel maupun suhu annealing memiliki dampak signifikan terhadap kekasaran permukaan, dengan suhu yang lebih tinggi dan kecepatan putaran yang lebih rendah cenderung menghasilkan permukaan yang lebih kasar.

DAFTAR PUSTAKA

- Adipura, A., & Nafi, M. (2022, October). Analisa Pengaruh Heat Treatment Temperring Dengan Variasi Waktu Tahan Dan Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah. In Senakama: Prosiding Seminar Nasional Karya Ilmiah Mahasiswa (Vol. 1, No. 1, pp. 203-212).
- Farokhi, M., Sumbodo, W., & Rusiyanto, R. (2017). Pengaruh Kecepatan Putar Spindle (Rpm) Dan Jenis Sudut Pahat Pada Proses Pembubutan Terhadap Tingkat Kekasaran Benda Kerja Baja Ems 45. *Saintekno: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 15(1), 85-94.
- Grigoriev, S. N., Nikitin, N. Y., Yanushevich, O., Kriheli, N., Kramar, O., Khmyrov, R., Idarmachev, I., & Peretyagin, P. (2023). *Analisis Eksperimental dan Statistik Pengaruh Perlakuan Panas terhadap Kekasaran Permukaan dan Sifat Mekanik Sampel Berdinding Tipis yang Diperoleh dengan Peleburan Laser Selektif dari Bahan AlSi10Mg*. <https://doi.org/10.20944/preprints202310.1275.v1>
- Hasan, H. (2020). Analisis Pengaruh Proses Annealing Terhadap Sifat Mampu Mesin Baja ST70 Pada Proses Pembubutan (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Hidayat, R. N., Sabri, L. M., & Awaluddin, M. (2019). Analisis desain jaring GNSS berdasarkan fungsi presisi (studi kasus: titik geoid).
- Kasman, R. A. A. (2020). Pengaruh Proses Annealing Baja Karbon ST60 terhadap Kekasaran Permukaan Hasil Permesinan Bubut (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Listyawan, Y. (2018). Aalisa Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekerasan Permukaan Benda Kerja Menggunakan Pahat Bubut HSS Pada Pembubutan Baja ST 40. Politeknik Negeri Bengkalis.
- Munandar, S. (2020). Simulasi Annealing pada Material Cold Rolled untuk Aplikasi Batch Annealing Furnace di PT Krakatau Steel untuk Produksi Drum (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- Nasution, M. K. M., Muchtar, M. A., & Nasution, T. H. (2018). [Judul Artikel]. *Journal of Physics:Conference Series*, 978, 012012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/978/1/012012>
- Patli. "Pengaruh Kecepatan Potong terhadap Kekasaran Permukaan pada Pembubutan Baja AISI 4140HB7M dengan Menggunakan Mata Pahat Karbida Berlapis." *PISTON (Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Fakultas Teknik UISU)*, vol. 9, no. 2, 2023, pp. 1-10.

- Rasyad, A., & Budiarto, B. (2018). Analisis pengaruh temperatur, waktu, dan kuat arus proses elektroplating terhadap kuat tarik, kuat tekuk, dan kekerasan pada baja karbon rendah. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(3), 173-182. Universitas Brawijaya.
- Sugiyono. (2010). Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif. Alfabeta Ulfa, R. (2021). Variabel Penelitian Dalam Penelitian Pendidikan. Al-Fathonah, 1(1), 342-351.
- Yusuf, M., & Carles, H. (2019). Analisa Kekasaran Permukaan Terhadap Kekerasan Material Pada Proses Milling Dengan Variasi Kecepatan Feeding. *Jurnal Teknik Mesin Mercu Buana*, 8(2), 57-63.