

Studi Pengaruh Kedalaman Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan dan Kekuatan Tarik Baja S45C Pada Proses Bubut Mesin CNC

Study of the Effect of Infeed Depth on the Surface Roughness and Tensile Strength of S45C Steel in the CNC Machine Lathe Process

Stefhant Hariyanto¹, Ratna Dewi Anjani², Aripin³

^{1,2,3}Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang, Indonesia

e-mail: 1910631150204@student.unsika.ac.id¹, ratna.dewi@ft.unsika.ac.id², arifin@staff.unsika.ac.id³

Abstrak

Proses pemesinan pada mesin CNC adalah dengan cara menyayat dan memotong benda kerja menggunakan pahat insert. Proses pemesinan CNC memiliki banyak keunggulan dalam segi produksi dalam jumlah besar. Program pada mesin bubut CNC memiliki akurasi yang presisi dalam membubut benda kerja. Untuk produksi dalam jumlah banyak diperlukan kualitas hasil pemesinan yang baik seperti hasil kekasaran permukaan. Salah satu faktor penyebab kekasaran permukaan adalah kedalaman pemakanan. Tujuan dari penelitian ini membandingkan kedalaman pemakanan 0,5 mm, 0,75 mm dan 1 mm terhadap hasil kekasaran permukaan dan mencari tahu kekuatan tarik terhadap kekasarannya. Dari hasil penelitian ini diketahui kekasaran permukaan terendah terdapat pada spesimen dengan kedalaman pemakanan 0,4 yaitu sebesar 2,590 μm , tegangan tarik nya memperoleh hasil sebesar 796,27 x 106 N/m². Dan kekasaran permukaan tertinggi ada pada kedalaman pemakanan 4,263 μm . Tegangan tarik nya memperoleh hasil sebesar 703,01 x 106 N/m².

Kata kunci: Kedalaman Pemakanan, Kekasaran Permukaan, Kekuatan Tarik

Abstract

Machining process on CNC machines involves cutting and shaping the workpiece using insert tools. CNC machining offers numerous advantages, especially in mass production scenarios. CNC lathe programs exhibit high precision accuracy when machining workpieces. For large-scale production, achieving high-quality machining outcomes, such as surface roughness, is essential. One of the factors affecting surface roughness is the depth of cut. The objective of this research is to compare surface roughness outcomes with varying depths of cut, namely 0.5 mm, 0.75 mm, and 1 mm, and to investigate their tensile strength in relation to the surface roughness. The research findings reveal that the lowest surface roughness is observed in specimens machined with a depth of cut of 0.5 mm, measuring at 2.590 μm , and attaining a tensile strength of 796.27 x 106 N/m². Conversely, the highest surface roughness is seen with a depth of cut of 4.263 μm , with a corresponding tensile strength of 703.01 x 106 N/m².

Keywords : Depth of Cut, Surface Roughness, Tensile Strength

1. PENDAHULUAN

Poses pemesinan dalam bidang manufaktur di dunia Industri berkembang pesat dan menuntut kualitas produk yang baik, waktu dalam proses ini juga turut menjadi sorotan. Sehingga proses dalam produksi di dunia industri harus dilakukan dengan cepat, tepat dan efektif untuk menghasilkan produk yang berkualitas dengan waktu singkat. Untuk memenuhi produksi skala besar maka digunakan mesin CNC. Hasil produk yang baik dan biaya murah menjadi target setiap industri. Proses pemesinan dalam proses produksi yang menarik untuk diteliti adalah proses pemesinan bubut (Turning) dimana logam dibentuk dengan cara memotong atau menyayat menjadi suatu komponen atau produk yang dibutuhkan di pasaran, dan digunakan pahat dalam proses pembentukan tersebut.

Proses bubut atau proses turning merupakan salah satu metode produksi yang sering digunakan dalam dunia industri. Keunggulan mesin CNC (Computer Numerically Controlled) diantaranya adalah dapat menghasilkan benda yang baik dari segi kualitas, keakuratan ukuran, tingkat kepresisian dan lain sebagainya (A. Zubaidi, 2012). Mesin CNC (Computer Numerical Control) adalah mesin bubut (Lathe) yang menggunakan metode pemesinan dengan menggabungkan teknologi komputer dan kontrol numerik untuk menjalankan otomatisasi dan mengontrol operasi mesin perkakas (Untoro, 2022). Mesin bubut CNC memiliki prinsip dasar pemesinan dengan menghilangkan sebagian material benda kerja dengan penyayatan atau pemotongan yang di program pada panel kontrol mesin CNC. Program pada mesin CNC Prinsip kerja mesin bubut CNC juga sama dengan mesin bubut konvensional yaitu benda kerja yang dipasang pada cekam bergerak sedangkan alat potong diam (Rahdiyanta, 2019).

Karakteristik suatu kekasaran permukaan memegang peranan penting untuk perancangan komponen mesin karena ada hubungannya dengan gesekan, keausan, pelumasan, dan kelelahan material (Prasetyo, 2014). Kekasaran permukaan suatu produk logam juga akan berpengaruh apabila dirangkai dengan komponen lain, karena produk logam yang permukaannya kasar akan lebih cepat aus daripada produk logam yang permukaannya halus (Eka & Adil, 2016). Penelitian Anjar Priyatmojo (2019) yang berjudul "Pengaruh Kecepatan Spindel Dan Kedalaman Pemakanan Proses Mesin Cnc Frais Terhadap Kekasaran Permukaan Remelting Blok Silinder". Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kecepatan dan kedalaman potong spindel yang optimal untuk mencapai kekasaran permukaan yang minimal. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan 9 spesimen dan menyelidiki pengaruh variasi kecepatan spindel (1150 rpm, 1350 rpm, dan 1600 rpm) dan variasi kedalaman potong (0,25 mm, 0,5 mm, dan 0,75 mm) terhadap kekasaran permukaan material (Priyatmojo, 2019).

Penelitian Tri Syamsul Allam (2020) dengan judul "Pengaruh Laju Pemakanan Dan Kedalaman Pemakanan Pada Proses Cnc Turning Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Baja ST60" Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kedalaman pemakanan dan laju pemakanan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan baja karbon ST 60 dalam proses pembubutan CNC. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan variabel kontrol laju pemakanan sebesar 0,2 mm/rev dan kedalaman pemakanan sebesar 1,3 mm. Variasi dalam kedalaman pemakanan adalah 0,2 mm, 0,3 mm, 2,3 mm, dan 2,5 mm dengan laju pemakanan 0,2 mm/putaran. Variasi dalam kadar pemakanan adalah 0,05 mm/rev, 0,1 mm/rev, 0,4 mm/rev, dan 0,5 mm/rev dengan kedalaman pemakanan 1,3 mm (Allam, 2020). Penelitian Zaldy Kurniawan (2018) dengan judul "Optimasi Kekasaran Permukaan Pada Material Amutit Dengan Proses Cnc Turning Menggunakan Desain Taguchi" Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kekasaran permukaan material Amutit menggunakan CNC turning dengan desain Taguchi (Kurniawan, 2018). Penelitian Mohammad Rafi (2022), berjudul "Analisis Pengaruh Parameter Proses Pembubutan Terhadap Harga Kekasaran Menggunakan Metode Taguchi" Tujuan penelitian ini adalah

untuk mengidentifikasi kontribusi elemen-elemen yang mempengaruhi kekasaran permukaan pada proses bubut CNC, serta mencari kombinasi faktor-faktor (kecepatan potong, putaran spindel, dan kedalaman pemakanan) yang menghasilkan kekasaran permukaan minimum (Rafi, 2022).

Setiap permukaan dari benda kerja yang telah mengalami proses permesinan akan mengalami kekasaran permukaan yang dimaksud dengan kekasaran permukaan adalah penyimpangan rata-rata aritmatik dari garis rata-rata permukaan. Menurut Vorberger, T.V. dan J. Raja, kekasaran terdiri dari ketidakraturan dari tekstur permukaan, yang pada umumnya mencakup ketidakraturan yang diakibatkan oleh perlakuan selama proses produksi (Vorburger, 1990). Dalam dunia industri, permukaan benda kerja memiliki nilai kekasaran permukaan yang berbeda, sesuai dengan kebutuhan dari alat tersebut. Nilai kekasaran permukaan memiliki nilai kualitas (N) yang berbeda, Nilai kualitas kekasaran permukaan telah diklasifikasikan oleh ISO dimana yang paling kecil adalah N1 yang memiliki nilai kekasaran permukaan (Ra) $0,025 \mu\text{m}$ dan yang paling tinggi N12 yang nilai kekasarannya $50 \mu\text{m}$ (Annual Book ISO (Internasional Standar Operation), 1999).

Kekasaran akhir permukaan benda bisa ditetapkan dari banyak parameter. Parameter yang biasa dipakai dalam proses produksi untuk mengukur kekasaran permukaan adalah kekasaran rata-rata (Ra) Untuk memproduksi profil suatu permukaan, sensor/peraba (stylus) alat ukur harus digerakkan mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan terlebih dahulu (Rachim, 1982). Kekuatan tarik adalah uji tarik adalah salah satu jenis proses perlakuan material guna mengetahui kekuatan maksimum tegangan (Stress) dan regangan (Strain) sebuah material. Tujuannya adalah untuk mengetahui kemampuan ketahanan dalam tarikan pada suatu tingkatan daya tertentu (Davis, 2004). Sifat-sifat yang didapat dari pengujian material akan berbeda apabila jenis material yang diuji berbeda. Sifat material dapat berupa elastic, plastic-elastic, plastic, hyperelastic, visco elastic, dan viscoplastic (Cahyo, 2014).

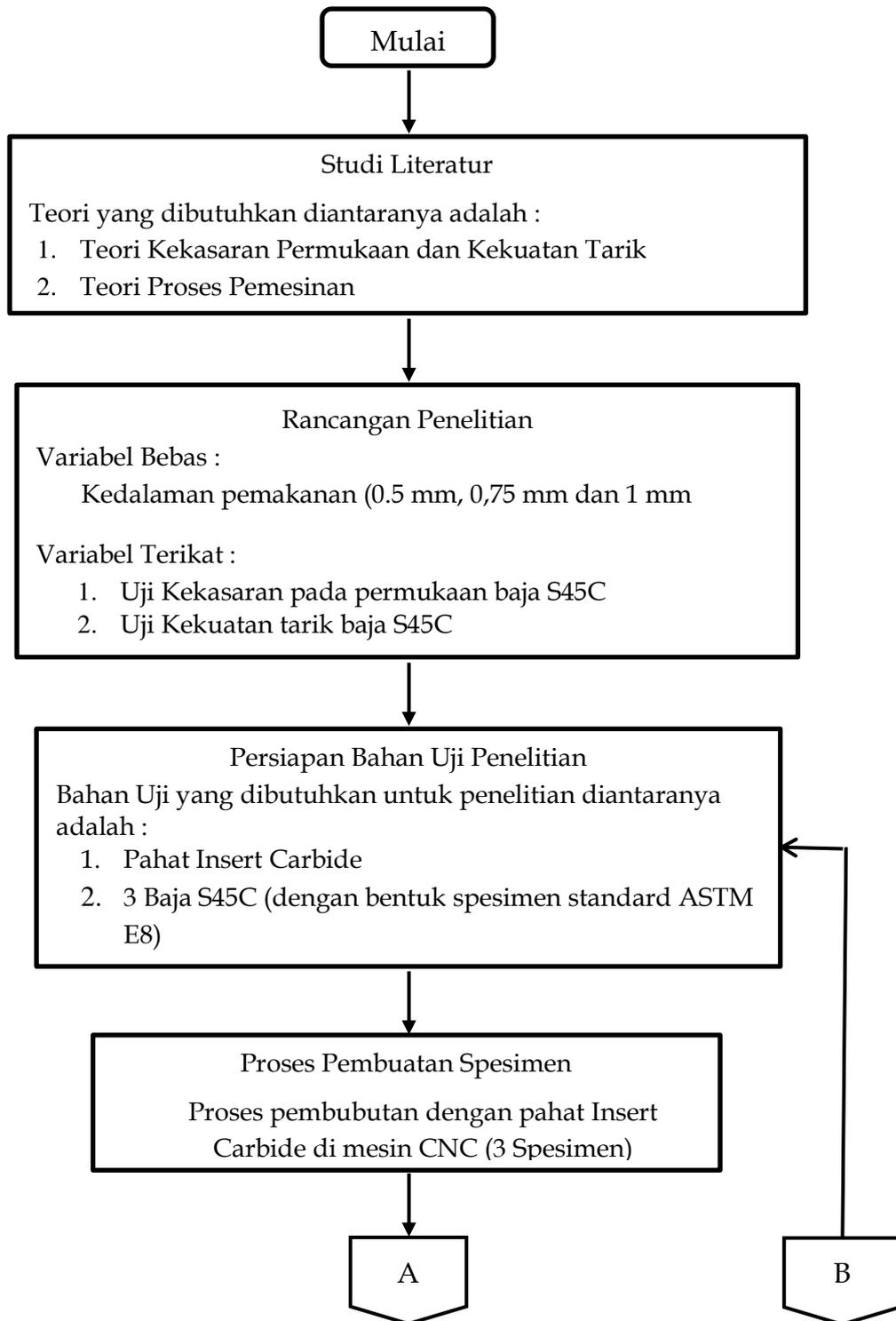
Uji Tarik yang dilakukan pada suatu spesimen silindris maupun lembaran yang sudah disesuaikan dengan standar tertentu (ASTM, JIS, DIN, dan SNI) baik logam maupun non-logam akan memberikan keterangan yang relatif lengkap mengenai perilaku material terhadap pembebanan mekanis, informasi tersebut berisi tentang batas proporsional (proportionality limit), beban Elastis (elastic limit), titik luluh (yield point) dan kekuatan luluh (yield strength), kekuatan tarik maksimum (Ultimate tensile strength), kekuatan putus (breaking strength), keuletan (Ductility), modulus elastisitas atau modulus young (E), modulus kelentingan (Modulus of resilience), modulus ketangguhan (Modulus of toughness), dan kurva tegangan-regangan (Yuwono, 2009).

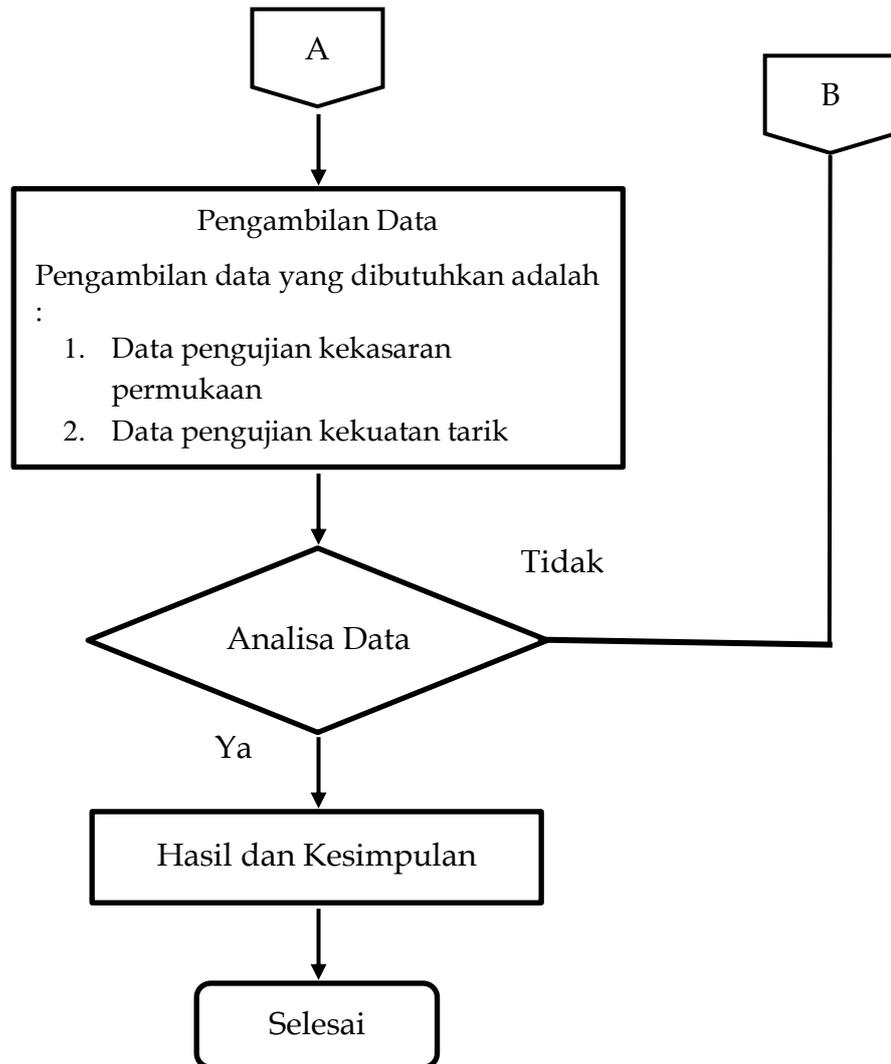
Baja S45C adalah baja dengan daya renggang menengah yang dipasok dalam kondisi gulungan panas hitam atau kondisi normal. Baja ini memiliki kekuatan untuk diregangkan $570 - 700 \text{ MPa}$ dan kekerasan Brinell di antara 170 dan 210. Baja S45C memiliki karakteristik kemampuan las yang baik, kemampuan mesin yang baik, dan karakteristik kekuatan dan benturan yang tinggi baik dalam kondisi normal atau gulungan panas. Baja S45C memiliki kemampuan pengerasan yang rendah dengan ukuran sekitar 60mm yang direkomendasikan untuk pencampuran dan pengerasan. Namun, itu dapat secara efisien dipanaskan atau pengerasan secara induksi dalam kondisi normal atau gulungan panas untuk mendapatkan permukaan yang keras dengan kisaran Rc 54 - Rc 60 berdasarkan faktor-faktor seperti ukuran, jenis pengaturan, medium pendingin yang digunakan, dan lainnya.

Adapun tujuan penelitian dari pengaruh variasi proses pembubutan terhadap kekasaran permukaan besi S45C adalah untuk mengetahui hasil nilai tingkat kekasaran dari pengaruh variasi jenis pahat, mengetahui hasil nilai tingkat kekasaran dari pengaruh variasi kedalaman pemotongan, dan mengetahui pengaruh kekasaran permukaan terhadap kekuatan tarik baja S45C.

2. METODE

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Jastek Makmur Presisi yang beralamat di perumahan Cikarang Baru Jl. Beruang Raya no. 91, Jayamukti, Kec. Cikarang Pusat, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat dan pengujian spesimen dilaksanakan di Balai Besar Logam dan Mesin di Bandung yang beralamat di Jl. Sangkuriang No.12, Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat. Yang dimulai pada bulan Maret 2023 sampai bulan Juli 2023.





Gambar 1 Diagram alir penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

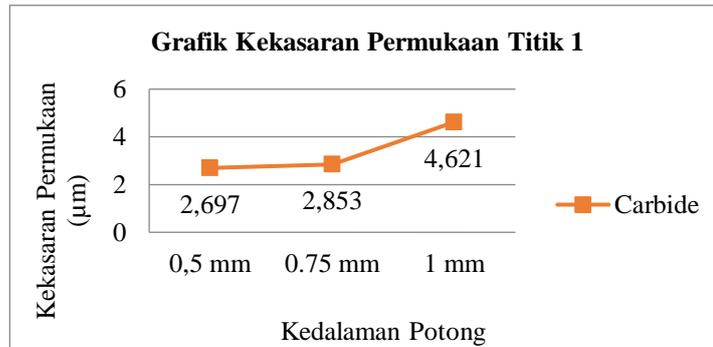
Pengujian kekasaran permukaan dan kekuatan tarik ini dilakukan pada material baja S45C dengan menggunakan bentuk spesimen dengan standar ASTM E8-04.

Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan

Data pada pengujian kekasaran permukaan dari proses bubut baja paduan S45C didapatkan hasil pengukuran yang dapat dilihat pada tabel 1.

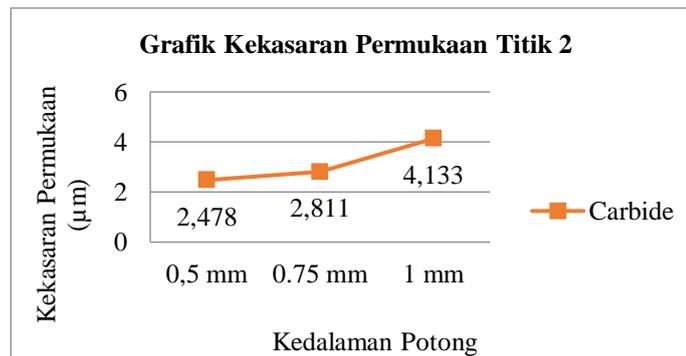
Tabel 1 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan.

No.	Identitas Spesimen	Depth of Cut	Kekasaran (µm)				Golongan Kekasaran
			Ra 1	Ra 2	Ra 3	Ra (µm) rata-rata	
1	Carbide A	0,5 mm	2,697	2,478	2,595	2,590	N4
2	Carbide B	0,75 mm	2,853	2,811	2,770	2,811	N4
3	Carbide C	1 mm	4,621	4,133	4,035	4,263	N5



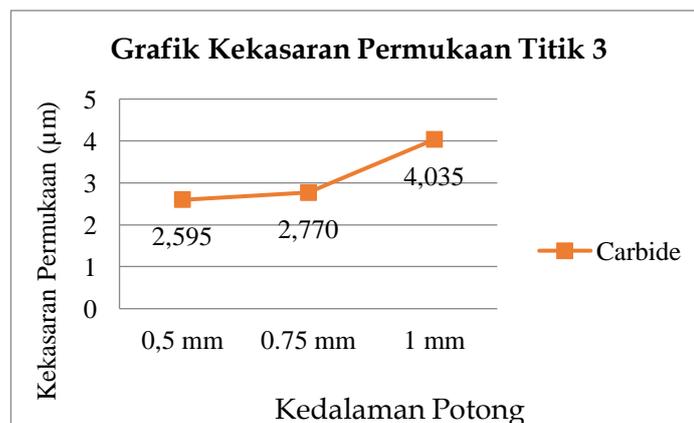
Gambar 1. Grafik kekasaran titik 1.

Pengujian kekasaran permukaan baja S45C di titik 1 pada proses bubut menggunakan pahat insert carbide didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada grafik digambar 4.1 dengan kedalaman pemakanan 0.5 mm memperoleh hasil sebesar 2,697 μm, kedalaman pemakanan 0.75 mm memperoleh hasil sebesar 2,853 μm, kedalaman pemakanan 1 mm memperoleh hasil sebesar 4,621 μm.



Gambar 2. Grafik kekasaran titik 2.

Pengujian kekasaran permukaan baja S45C di titik 2 pada proses bubut menggunakan Carbide dengan kedalaman pemakanan 0.5 mm memperoleh hasil sebesar 2,478 μm, kedalaman pemakanan 0.75 mm memperoleh hasil sebesar 2,811 μm, kedalaman pemakanan 1 mm memperoleh hasil sebesar 4,133 μm.



Gambar 3. Grafik kekasaran titik 3.

Pengujian kekasaran permukaan baja S45C di titik 3 pada proses bubut menggunakan pahat insert Carbide dengan kedalaman pemakanan 0.5 mm memperoleh hasil sebesar 2,595 μm , kedalaman pemakanan 0.75 mm memperoleh hasil sebesar 2,770 μm , kedalaman pemakanan 1 mm memperoleh hasil sebesar 4,035 μm .



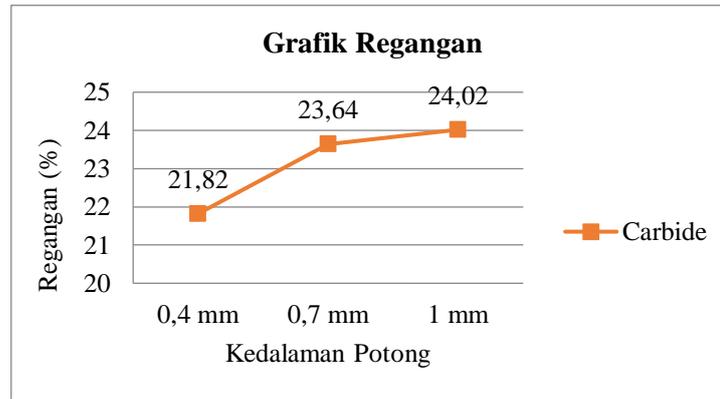
Gambar 3. Grafik kekasaran rata-rata.

Hasil Pengujian Tarik

Data pengujian Kekuatan Tarik dari proses bubut baja S45C didapatkan hasil pengukuran yang dapat dilihat pada tabel 2.

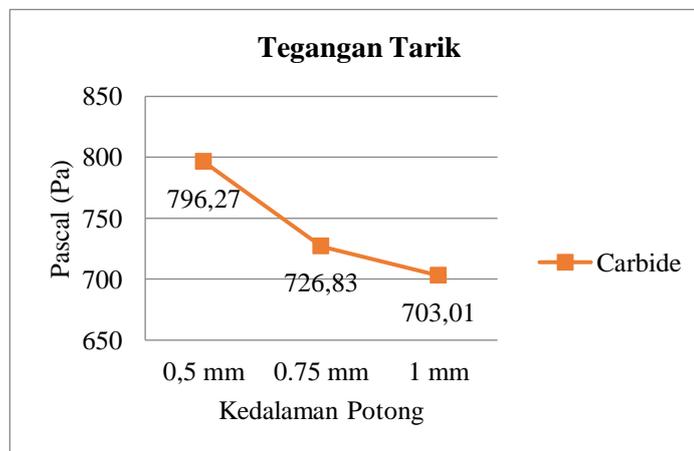
Tabel 2. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik.

Parameter Uji	Spesimen ASTM E8		
	A	B	C
Identitas	A	B	C
Depth of Cut	0,5 mm	0,75 mm	1 mm
Luas Penampang (mm^2)	121,54	123,11	123,31
Lo (mm)	50	50	50
Li (mm)	60,91	61,82	62,01
Regangan (Strain) (%)	21,82	23,64	24,02
F max (N)	96779	89480	86688
Kuat Tarik (N/mm^2)	796,26	726,82	703,02
Tegangan Tarik (Stress)	796,27	726,82	703
Modulus Young	36,49	30,74	29,26
Yield Load, (N)	64610	58168	54890
Yield Strenght, (N/mm^2)	531,58	472,49	445,15



Gambar 4. Grafik regangan hasil pengujian tarik.

Regangan masing-masing spesimen baja S45C pada proses bubut menggunakan pahat Carbide dengan kedalaman pemakanan 0.5 mm memperoleh hasil sebesar 21.82%, kedalaman pemakanan 0.75 mm memperoleh hasil sebesar 23.64%, kedalaman pemakanan 1 mm memperoleh hasil sebesar 24.02%. Seperti yang terlihat pada gambar 4 grafik regangan.



Gambar 5. Grafik tegangan tarik.

Pada proses bubut menggunakan pahat carbide didapatkan hasil seperti pada gambar 5 permukaan dengan proses bubut menggunakan pahat Carbide dengan kedalaman pemakanan 0.5 mm memperoleh hasil sebesar $796,27 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, kedalaman pemakanan 0.75 mm memperoleh hasil sebesar $726,83 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, kedalaman pemakanan 1 mm memperoleh hasil sebesar $703,01 \times 10^6 \text{ N/m}^2$.

Pembahasan

Berdasarkan data hasil pengujian diatas dengan menggunakan pahat insert Carbide pada variasi kedalaman pemakanan 0,5 mm; 0,75 mm dan 1 mm dapat dibandingkan bahwa kekasaran permukaan tertinggi sebesar $4,263 \mu\text{m}$ diperoleh pada kedalaman pemakanan 1 mm, sedangkan kekasaran permukaan terendah sebesar $2,590 \mu\text{m}$ diperoleh pada kedalaman pemakanan 0,5 mm. Kedalaman pemakanan yang tinggi mengakibatkan perubahan struktur permukaan yang menjadi kasar pada permukaan baja S45C begitu pun sebaliknya kedalaman pemakanan yang lebih rendah menghasilkan kekasaran permukaan yang rendah atau halus.

Kekasaran permukaan menghasilkan retakan yang menjadi awal inisiasi putusnya bidang pada spesimen baja. Perubahan geometri yang memiliki retakan pada permukaan

mengakibatkan konsentrasi tegangan yang tinggi daripada rata-rata tegangan diseluruh benda uji , Berdasarkan hasil data pengujian kekuatan tarik dengan standar ASTM E8 didapatkan hasil bahwa tegangan tarik tertinggi ada pada spesimen dengan kedalaman pemakanan 0,5 mm yang memperoleh harga kekasaran sebesar 2,590 μm tegangan tarik sebesar $796,27 \times 106\text{N/m}^2$ dan mengalami regangan 21,82%. pada spesimen dengan kedalaman pemakanan 0,75 mm yang memperoleh harga kekasaran sebesar 2,811 μm tegangan tarik sebesar $726,83 \times 106\text{ N/m}^2$, dan mengalami regangan 23.64%. pada spesimen dengan kedalaman pemakanan 1 mm yang memperoleh harga kekasaran sebesar 4,263 μm tegangan tarik sebesar $703,01 \times 106\text{ N/m}^2$, dan mengalami regangan 24.02%.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil dari penelitian ini didapatkan data kekasaran permukaan dan kekuatan tarik Baja S45C melalui proses bubut dengan kecepatan spindle 1050 RPM, kecepatan makan 0.13 mm/rev dan variasi kedalaman pemakanan 0.5 mm, 0.75 mm dan 1 mm pada baja S45C, pahat yang digunakan adalah pahat Carbida. maka dapat disimpulkan diantaranya sebagai berikut:

- Proses bubut dengan kedalaman pemakanan 0.5 mm, mendapatkan harga kekasaran permukaan rata-rata sebesar 2,590 μm , tegangan tariknya memperoleh hasil sebesar $796,27 \times 106\text{ N/m}^2$, dan mengalami regangan sebesar 21,82%. Pada kedalaman pemakanan 0.75 mm mendapatkan harga kekasaran permukaan rata-rata sebesar 2,811 μm , tegangan tariknya memperoleh hasil sebesar $726,83 \times 106\text{ N/m}^2$, dan mengalami regangan sebesar 23.64%. Pada kedalaman pemakanan 1 mm mendapatkan harga kekasaran permukaan rata-rata sebesar 4,263 μm . Tegangan tariknya memperoleh hasil sebesar $703,01 \times 106\text{ N/m}^2$, dan mengalami regangan sebesar 24.02%.
- Semakin besar angka kedalaman pemakanan maka semakin besar harga kekasaran permukaannya, dan semakin kecil angka kedalaman potongnya semakin kecil harga kekasaran permukaannya. Harga kekasaran permukaan tertinggi ada di kedalaman pemakanan 1 mm yaitu sebesar 4,263 μm . Dan kekasaran permukaan terendah ada di kedalaman pemakanan 0,5 mm yaitu sebesar 2,590 μm .
- Menggunakan mesin CNC dengan pengaturan parameter yang tepat dapat mengurangi kerugian dalam produksi skala besar dan mesin CNC yang digunakan dengan parameter pemesinan yang tepat dapat meningkatkan produktivitas di dalam industri karena mesin CNC memiliki keakuratan tinggi dan dapat menghasilkan produk yang seragam dengan kualitas yang baik.

Saran

Dalam penelitian ini penulis berikan saran agar penelitian berikutnya bisa lebih sempurnadiantaranya yaitu parameter pembubutan dalam penelitian kekasaran permukaan dan kekuatan tarik harus lebih banyak yang di gunakan agar mendapatkan hasil penelitian yang lebih lengkap dan sempurna serta pemrograman mazatrol pada mesin CNC mazak nexus 150 berbeda dengan mesin CNC yang menggunakan program G-Code dan sangat disarankan mencari studi literatur lebih untuk program G-Code di penelitian berikutnya.

DAFTAR RUJUKAN

- A. Zubaidi, I. S. (2012). "Analisis pengaruh kecepatan putar dan kecepatan pemakanan terhadap kekasaran permukaan material FCD. 40 pada mesin bubut CNC. Momentum. Universitas Wahid Hasyim Semarang, 40-47.

- Allam, T. S. (2020). "pengaruh laju pemakanan dan kedalaman pemakanan pada proses cnc turning terhadap tingkat kekasaran permukaan baja st 60. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 31-38.
- Annual Book ISO (Internasional Standar Operation)*. (1999).
- Cahyo, F. D. (2014). *Pengaruh Wide Angle pada Blade Indenter terhadap hasil pembebanan dalam pengujian tekan material hyperplastic dengan menggunakan metode elemen hingga*.
- Davis, J. R. (2004). *Tensile testing 2nd edition*. USA: ASM International.
- Eka, I. P., & Adil. (2016). Pengaruh kecepatan asutan dan kedalaman potong terhadap kekasaran permukaan aluminium pada bubut CNC TU-2A. *Jurnal Momentum*, 119-123.
- ISO (Internasional Standar Operation)*. (n.d.).
- Kurniawan, Z. (2018). optimasi kekasaran permukaan pada material amutit dengan proses cnc turning menggunakan desain taguchi. *Jurnal Manutech*, 46-57.
- Prasetyo. (2014). Pengaruh jenis pahat, kecepatan spindle, dan kedalaman pemakanan terhadap tingkat kekasaran permukaan baja s45c dengan menggunakan software mastercam pada mesin mori seiki CL2000. *JTM*, 141-146.
- Priyatmojo, A. (2019). "Pengaruh kecepatan spindle dan kedalaman pemakanan proses CNC frais terhadap kekasaran permukaan remelting blok silinder. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 25-29.
- Rachim, T. (1982). *Teori dan Teknologi Proses Permesinan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Rafi, M. (2022). "Analisis pengaruh parameter proses pembubutan terhadap harga kekasaran menggunakan metode taguchi. *Prosiding seminar nasional inovasi teknologi terapan*, 53-61.
- Rahdiyanta, D. D. (2019). *"prinsip kerja dan bagian-bagian utama mesin bubut CNC TU-2A*. Yogyakarta: FT-UNY.
- Untoro, D. A. (2022). Mesin CNC dan Kegunaan Mesin CNC dalam Dunia Industri. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, 186-192.
- Vorburger, T. d. (1990). *Surface Finish Methodoly Tutorial*. Gaithersburg: Department of Commerce National Institite of Standards on Thenology.
- Yuwono, A. H. (2009). *Pengujian Merusak (Destructive Testing Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material 1)*. Depok: Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.