

ANALISIS PENGARUH KEDALAMAN POTONG TERHADAP GETARAN DAN KEKASARAN PERMUKAAN PADA PROSES BUBUT MATERIAL BAJA KARBON ST37

Abdur Rafi Malik^(1*), Chairul Anam⁽¹⁾, M Abdul Wahid⁽¹⁾, Khairul Muzaka⁽¹⁾ dan Eli Novita Sari⁽¹⁾

⁽¹⁾Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Negeri Banyuwangi

^(*)E-mail Corresponding Author : abdurrafimalik254@gmail.com

Abstrak

Mesin perkakas memiliki peran integral dalam proses produksi industri, termasuk proses pembuatan dan perbaikan komponen. Salah satu mesin yang umum digunakan dalam industri manufaktur adalah mesin bubut, yang digunakan untuk memotong benda kerja yang berputar menggunakan pahat. Salah satu jenis baja yang sering digunakan adalah baja ST 37 yang memiliki kandungan karbon kurang dari 0,3%. Meskipun sangat ulet, kekerasan permukaan baja tersebut tergolong rendah sehingga memerlukan modifikasi sebelum digunakan untuk aplikasi tertentu seperti konstruksi mesin yang saling bergesekan. Getaran pada mesin dapat menyebabkan ketidaknyamanan, kurangnya ketepatan dalam pengukuran, atau bahkan kerusakan pada mesin. Karakteristik kekasaran permukaan benda kerja juga dipengaruhi oleh faktor kondisi pemotongan dan geometri pahat potong. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kedalaman potong terhadap getaran dan kekasaran permukaan pada proses bubut material baja karbon ST 37. Hasil dari penelitian pada pengujian getaran didapatkan nilai kecepatan getaran dipengaruhi oleh kedalaman potong. Semakin besar kedalaman potong, nilai kecepatan getaran cenderung semakin tinggi, sedangkan semakin kecil kedalaman potong, nilai kecepatan getaran cenderung semakin rendah, sedangkan pada pengujian kekasaran permukaan pada variasi kedalaman potong 0,4 mm, 0,5 mm, dan 0,6 mm didapatkan dengan nilai rata-rata kekasaran permukaan pahat HSS masing-masing adalah 2,128 μm , 3,841 μm , dan 4,032 μm . Hal ini menunjukkan semakin kecil kedalaman pemakanan, nilai kekasaran permukaan cenderung semakin tinggi, sementara semakin besar kedalaman pemakanan, nilai kekasaran cenderung semakin rendah.

Kata Kunci: Bubut, Kedalaman, Kekasaran, Getaran, Baja.

Abstract

Machine tools play an integral role in the industrial production process, including the manufacturing and repair of components. One of the commonly used machines in the manufacturing industry is a lathe, which is used to cut a rotating workpiece using a tool. One type of steel that is often used is ST 37 steel, which has a carbon content of less than 0.3%. Although highly ductile, the surface hardness of the steel is low and requires modification before being used for certain applications such as the construction of machinery that rubs against each other. Vibration in machinery can cause discomfort, lack of accuracy in measurement, or even damage to the machine. The surface roughness characteristics of the workpiece are also influenced by cutting conditions and cutting tool geometry. Therefore, this study aims to analyze the effect of variations in depth of cut on vibration and surface roughness in the lathe process of carbon steel material ST 37. The results of the research on vibration testing obtained the vibration speed value is influenced by the depth of cut. The greater the depth of cut, the higher the vibration speed, while the smaller the depth of cut, the lower the vibration speed. While the surface roughness test at a depth of cut variation of 0.4 mm, 0.5 mm, and 0.6 mm is obtained with the average value of the HSS tool surface roughness of 2.128 μm , 3.841 μm , and 4.032 μm , respectively.

Keywords: Lathe, Depth, Roughness, Vibration, Steel

1 PENDAHULUAN

Mesin perkakas tidak dapat dipisahkan dari proses produksi terutama dalam industri manufaktur, proses pemesinan merupakan salah satu cara untuk menghasilkan produk dalam jumlah banyak dengan waktu relatif singkat [1]. Dari banyak mesin yang

digunakan pada industri manufaktur salah satunya adalah mesin bubut. Mesin bubut adalah mesin yang digunakan untuk memotong benda kerja yang berputar menggunakan pahat. Bubut mempunyai pengertian yaitu proses pemakanan benda kerja yang berputar dengan cara menyayat menggunakan pahat

yang bergerak sejajar dengan sumbu putar dari benda kerja [2].

Mesin bubut adalah salah satu jenis mesin perkakas yang digunakan untuk proses pemotongan benda kerja yang dilakukan dengan membuat sayatan pada benda kerja dimana pahat digerakkan secara translasi dan sejajar dengan sumbu dari benda kerja yang berputar [3][4]. Secara umum mesin bubut konvensional hanya menyediakan informasi dalam bentuk diagram pencair atau tabel tentang penentuan jumlah putaran-kecepatan potong versus diameter benda kerja. Pada sisi lain penentuan nilai parameter pemesinan atau kondisi pemotongan harus ditentukan diawal pengerjaan.

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja, baja yang digunakan yaitu baja ST 37. Baja ST 37 memiliki kandungan karbon kurang dari 0,3 %. Baja ini sering dipakai juga untuk konstruksi-konstruksi mesin yang saling bergesekan seperti roda gigi, poros karena sangat ulet. Namun kekerasan permukaan dari baja tersebut tergolong rendah sehingga sebelum digunakan untuk konstruksi-konstruksi yang disebutkan di atas, maka perlu dimodifikasi atau memperbaiki sifat kekerasan pada permukaannya [5].

Getaran yang terjadi pada mesin produksi biasanya menimbulkan efek yang tidak dikehendaki: seperti kebisingan, kurangnya tingkat kepresisian dalam pengukuran atau rusaknya struktur mesin [6]. Getaran yang terjadi pada proses pemesinan sangat berbahaya dan tidak diinginkan karena adanya sumber penggetar/eksitasi yang merambat melalui keseluruhan komponen/bagian mesin yang bersangkutan [7]. Gaya yang berasal dari dalam atau luar dapat menimbulkan getaran akan tetapi getaran yang ada tergantung dari frekuensi gaya tersebut. Getaran pemesinan juga dapat disebabkan oleh proses produksi dari mesin tersebut [8]. Pada proses pemesinan tentunya bisa mengakibatkan kekasaran permukaan, kekasaran permukaan adalah ketidak teraturan konfigurasi dan adanya penyimpangan rata-rata aritmetik dari garis rata-rata permukaan yang dapat terlihat pada profil permukaan [9]. Karakteristik kekasaran permukaan suatu benda kerja dapat diakibatkan oleh faktor kondisi pemotongan dan geometri dari pahat potong. Salah satu faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan adalah kecepatan pemakanan (*feeding*) dan kecepatan putar dari spindle. Semakin cepat kecepatan pemakanan maka semakin besar pula tingkat kekasaran dari benda kerja dan semakin cepat kecepatan putar dari spindle maka akan semakin rendah tingkat kekasarannya [10].

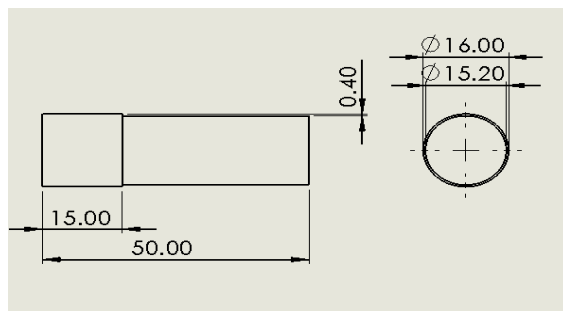
Menurut [11] melakukan penelitian tentang kedalam potong terhadap getaran pahat dan tingkat kekasaran pada proses pembuatan poros menggunakan mesin bubut. Penelitian ini menyimpulkan bahwa getaran pahat dan tingkat kekasaran yang baik didapat pada kecepatan putar spindle 130 rpm dengan kedalam

potong 1 mm yaitu sebesar 3,494 mm/s (Rms), dan tingkat kekasaran permukaan yang baik didapat pada kecepatan putar spindle 630 rpm dengan kedalam potong 1 mm yaitu sebesar 1,999 μm . Menurut [12] Hasil penelitian yang telah didapatkan, diketahui nilai getaran mesin yang tertinggi adalah 5.4 m/s^2 dan yang terendah adalah 1.8 m/s^2 . Nilai getaran rumah pahat yang paling tinggi adalah 5 m/s^2 dan yang terendah adalah 1 m/s^2 . Dan untuk yang kekasaran permukaan yang paling tinggi adalah 5.0 μm dan yang terendah adalah 2.33 μm . Serta dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan potong dan kedalaman potong maka getaran mesin, getaran rumah pahat dan kekasaran akan semakin tinggi.

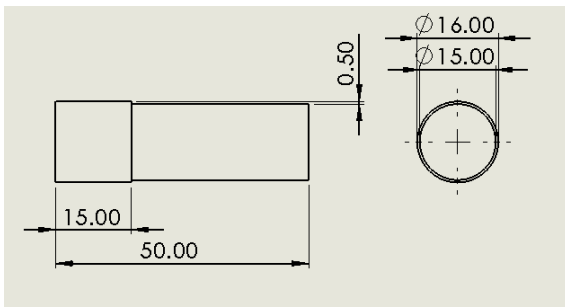
Hal ini akan menjadi suatu kendala pada proses manufaktur dalam menghasilkan produk dengan kualitas yang baik. Pemilihan parameter potong harus diperhatikan karena parameter pemotongan akan mempengaruhi getaran pahat dan kekasaran permukaan benda kerja. Kemampuan atau performa pahat bubut dalam melakukan pemotongan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya, jenis bahan atau material yang digunakan, geometris pahat bubut, sudut potong pahat bubut dan bagaimana apakah teknik penggunaannya sudah sesuai petunjuk [13]. Pada proses pemesinan, penentuan kombinasi parameter proses yang tepat untuk mencapai respon yang optimum sangat penting untuk dilakukan secara efektif. Pada penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mempelajari dan analisis pengaruh variasi kedalaman potong terhadap getaran dan kekasaran permukaan pada proses Bubut material baja karbon ST 37.

2 METODOLOGI

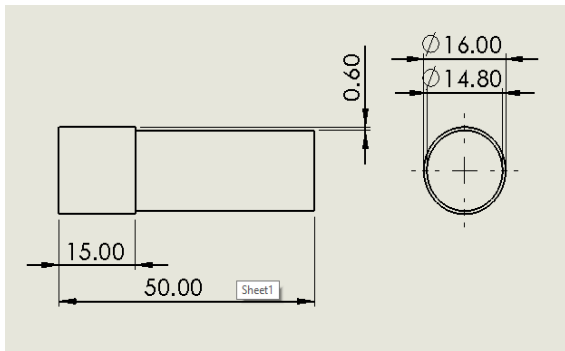
Metode penelitian kali ini yaitu experiment [14] Penelitian ini dilakukan di Laboratorium permesinan Politeknik Negeri Banyuwangi. Pada penelitian ini menggunakan tiga variasi kedalaman pemakanan yaitu 0,4, 0,5 dan 0,6 seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Pemakanan Kedalaman 0,4



Gambar 2 Pemakanan Kedalaman 0,5



Gambar 3 Pemakanan Kedalaman 0,6

Diagram Alir Penelitian



Gambar 4 Diagram Alir Penelitian

1. Studi Litelatur

Pada tahapan ini melakukan beberapa riset baik dari jurnal maupun dari buku yang berkaitan dengan topik penelitian

2. Menentukan Parameter Permesinan Bubut.

Menetapkan parameter-parameter yang akan digunakan pada mesin bubut, seperti kecepatan putar spindle, kedalaman potong, dan lain-lain

3. Setting Mesin Bubut dan Pasang Baja Karbon ST37

Menyiapkan mesin bubut dan memasang spesimen baja karbon ST37 untuk diuji.

4. Tabel Rancangan Eksperimen dan Jumlah Pengambilan Data

Menyusun rancangan eksperimen yang meliputi variasi parameter yang akan diuji dan jumlah data yang akan dikumpulkan.

5. Melakukan Pemotongan Baja Karbon ST37 dan Mengukur Getaran dan Kekasaran Permukaan

Melakukan proses pemotongan baja karbon ST37 dan secara bersamaan mengukur getaran serta kekasaran permukaan yang terjadi

6. Data Hasil Pengujian Berupa Nilai Getaran, Kekasaran Permukaan, dan Foto Profil

Mengumpulkan data hasil pengujian yang mencakup nilai getaran, kekasaran permukaan, serta dokumentasi visual dari profil hasil pemotongan.

7. Analisis dan Pembahasan

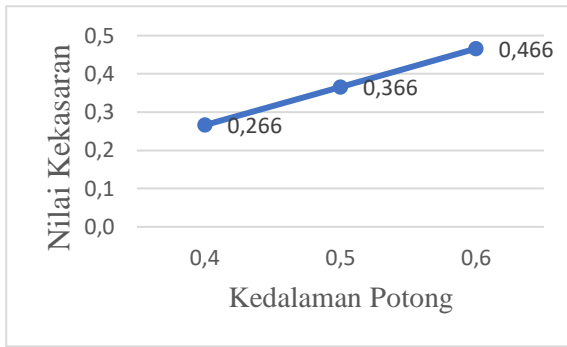
Menganalisis data yang diperoleh dan membahas hasil penelitian untuk memahami hubungan antara parameter pemesinan dengan getaran dan kekasaran permukaan

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan hasil penelitian yang menunjukkan data dalam bentuk tabel dan grafik berdasarkan variasi kedalaman pemakanan menggunakan pahat HSS, serta hasil pengujian kekasaran permukaan dan kecepatan getaran dengan menggunakan material baja ST 37. Pada penelitian ini menggunakan Kecepatan spindle secara konstan yaitu 300 RPM.

Tabel 1 Nilai Kecepatan Getaran pada Pahat HSS

Kedalaman Pemakanan (a)	Uji Pengulangan	Pahat HSS	
		Velocity mm/s	Rata - rata Velocity Vibration
0,4 mm	1	00,2 mm/s	0,266 mm/s
	2	00,3 mm/s	
	3	00,3 mm/s	
0,5 mm	1	00,4 mm/s	0,366 mm/s
	2	00,3 mm/s	
	3	00,4 mm/s	
0,6 mm	1	00,4 mm/s	0,466 mm/s
	2	00,5 mm/s	
	3	00,5 mm/s	



Gambar 5 Hubungan Nilai Rata-rata Kedalaman Potong

Pada Gambar 5 terlihat bahwa nilai rata-rata terhadap kecepatan getaran pahat HSS pada proses bubut material Baja ST37 menunjukkan variasi yang signifikan bergantung pada kedalaman potong. Rata-rata kecepatan terendah terukur pada kedalaman potong 0,4 mm, yaitu sebesar 0,266 mm/s, sedangkan nilai tertinggi tercatat pada kedalaman potong 0,6 mm dengan rata-rata kekasaran mencapai 0,466 mm/s. Pada kedalaman potong 0,5 mm, nilai rata-rata kekasaran mencapai 0,366 mm/s. Menurut Suhandra, 2021 terhadap nilai tingkat getaran semakin besar kedalaman potong akan semakin tinggi nilai kecepatan getaran sedangkan semakin kecil kedalaman potong akan semakin rendah nilai kecepatan getaran. Berikut ini untuk mengetahui batasan-batasan level getaran yang menunjukkan kondisi suatu mesin berdasarkan ISO 10816 terhadap mesin yang diklasifikasikan berdasarkan daya (*power*) mesin, apakah mesin tersebut masih baik (layak beroperasi) atau mesin tersebut sudah mengalami suatu masalah sehingga memerlukan perbaikan dengan pahat HSS hasil nilai rata-rata kecepatan getaran.

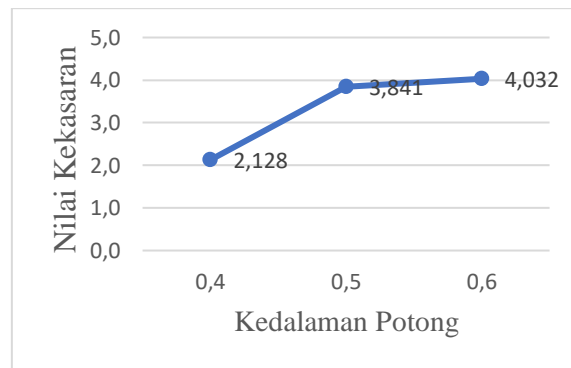
VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816					
Machine	Class I small machines		Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
	in/s	mm/s			
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28	good		
	0.02	0.45			
	0.03	0.71			
	0.04	1.12	satisfactory		
	0.07	1.80			
	0.11	2.80			
	0.18	4.50	unsatisfactory		
	0.28	7.10			
	0.44	11.2			
	0.70	18.0	unacceptable		
	0.71	28.0			
	1.10	45.0			

Gambar 6 Diagram Level Getaran Mesin Per ISO 10816 [15].

Berdasarkan ISO 10816 untuk proses *Turning*, mesin bubut dapat dikategorikan sebagai Class II. Pada setiap spesimen, hasil nilai rata-rata kecepatan getaran pahat HSS dengan variasi kedalaman potong antara lain 0,266 mm/s, 0,366 mm/s, dan 0,466 mm/s. Oleh karena itu, nilai rata-rata keseluruhan kecepatan getaran pahat HSS sebesar 0,366 mm/s tetap berada dalam kategori zona baik (*satisfactory*), karena masih berada di bawah batas 1,80 mm/s yang diizinkan. Mesin bubut ini dapat dioperasikan sesuai dengan batas yang telah ditetapkan.

Tabel 2 Nilai Hasil Kekasaran Permukaan pada Pahat HSS

Kedalaman Pemakanan (a)	Uji Pengulangan	Pahat HSS	
		Ra (μm)	Rata - rata Kekasaran
0,4 mm	1	2,043 μm	2,128 μm
	2	2,091 μm	
	3	2,250 μm	
0,5 mm	1	3,639 μm	3,841 μm
	2	3,930 μm	
	3	3,956 μm	
0,6 mm	1	4,010 μm	4,032 μm
	2	3,908 μm	
	3	4,178 μm	



Gambar 7 Hubungan Nilai Rata-rata Kedalaman Potong

Hasil pengujian kekasaran permukaan pada proses bubut material Baja ST37 menggunakan pahat HSS menunjukkan variasi yang signifikan bergantung pada kedalaman potong. Rata-rata kekasaran terendah terukur pada kedalaman potong 0,4 mm, yaitu sebesar 2,128 μm , sedangkan nilai tertinggi tercatat pada kedalaman potong 0,6 mm dengan rata-rata kekasaran mencapai 4,032 μm . Pada kedalaman potong 0,5 mm, nilai rata-rata kekasaran mencapai 3,841 μm . Berikut standart nilai tingkat kekasaran permukaan pada proses pengerjaan bubut dengan pahat HSS dari hasil nilai rata-rata kekasaran permukaan.

Cara Pengerjaan	Ra dalam mikrometer													
	200	100	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.8	0.4	0.2	0.1	0.05	0.025
Flame Cutting														
Sawing														
Abrasive Cutting														
Shearing, fine blaking														
Sand Blasting														
Ball Blasting														
Turning														
Superfine Turning														
Planing, Shapping														
Drilling, Boring														
Countersinking														
Reaming														
Face Milling														
Peripheral Milling														
Broaching														
Scraping														
Face Grinding														
Plain Grinding														

Gambar 8 Standart Nilai Tingkat Kekasaran Rata-rata Permukaan Proses Pengerjaan [16]

1. Spesimen 1 pahat HSS variasi kedalaman potong 0,4 mm dengan nilai rata-rata kekasaran permukaan yaitu : 2,128 μm terdapat kategori N7 (Warna Hijau kekasaran normal).



Gambar 9 Hasil Kedalaman Potong 0,4mm

2. Spesimen 2 pahat HSS variasi kedalaman potong 0,5 mm dengan nilai rata-rata kekasaran permukaan yaitu : 3,841 μm terdapat kategori N8 (Warna Hijau kekasaran normal).



Gambar 10 Hasil Kedalaman Potong 0,5 mm

3. Spesimen 3 pahat HSS variasi kedalaman potong 0,6 mm dengan nilai rata-rata kekasaran permukaan yaitu : 4,032 μm terdapat kategori N9 (Warna Hijau kekasaran normal).



Gambar 11 Hasil Kedalaman Potong 0,6mm

Pada gambar 8 menunjukkan kategori nilai kekasaran spesimen berdasarkan tabel, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai kekasaran pada pahat HSS spesimen paling rendah kategori N7, nilai kekasaran

spesimen paling tinggi pada kategori N9. Dengan nilai toleransi yang sesuai dengan tabel standart ini, maka proses pengerjaan pada material baja ST 37 pada pahat HSS berdasarkan data yang diperoleh dari spesimen 1-3 terletak pada rentang nilai kekasaran N7-N9 dengan proses pengerjaanya *Turning* (pembubutan).

4 KESIMPULAN

Pengujian kecepatan getaran terhadap variasi kedalaman pemakanan pada pahat HSS dengan putaran *spindle* konstan 300 Rpm menunjukkan bahwa nilai kecepatan getaran dipengaruhi oleh kedalaman potong. Semakin besar kedalaman potong, nilai kecepatan getaran cenderung semakin tinggi, sedangkan semakin kecil kedalaman potong, nilai kecepatan getaran cenderung semakin rendah. Mesin bubut diklasifikasikan sebagai Class II berdasarkan ISO 10816 untuk proses turning, dan dengan variasi kedalaman pemakanan, nilai rata-rata keseluruhan kecepatan getaran pahat HSS sebesar 0,366 mm/s. Nilai ini masih berada dalam kategori zona baik (*satisfactory*), karena masih berada di bawah batas 1,80 mm/s yang diizinkan, sehingga mesin bubut tersebut dapat dioperasikan sesuai dengan batasan yang telah ditetapkan.

Pengujian kekasaran permukaan terhadap variasi kedalaman potong 0,4 mm, 0,5 mm, dan 0,6 mm pada pahat HSS dengan putaran spindle konstan 300 Rpm menunjukkan bahwa hubungan antara nilai rata-rata kedalaman potong dengan pahat HSS berpengaruh terhadap nilai kekasaran Ra. Semakin kecil kedalaman pemakanan, nilai kekasaran permukaan cenderung semakin tinggi, sementara semakin besar kedalaman pemakanan, nilai kekasaran cenderung semakin rendah. Berdasarkan standar, nilai rata-rata kekasaran permukaan pada proses pengerjaan turning dengan pahat HSS dari spesimen 1 hingga 3 berada dalam rentang nilai kekasaran N7 hingga N9, dikategorikan sebagai pengerjaan khusus yang ditandai dengan warna kuning untuk kekasaran halus, dengan nilai rata-rata kekasaran permukaan pahat HSS masing-masing adalah 2,128 μm , 3,841 μm , dan 4,032 μm .

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat serta kesehatan, kepada para dosen pembimbing yang senantiasa membantu dalam mengerjakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. M and H. D, "Analisa pengaruh variasi sudut pahat hss terhadap kekasaran permukaan pada material ST-37," *Diseminasi FTI*, pp. 1-12, 2021.

- [2] Y. A, E. Indrawan, N. Helmi, A. Aziz and Y. A. Putra, "Pengaruh Sudut Potong dan Kecepatan Putaran Spindel Terhadap Kekasaran Permukaan pada Proses Bubut Mild Steel ST 37," *Invotek*, pp. 29-36, 2019.
- [3] Y. L. Kelen, A. M. Idkhan and B. Anwar, "Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Nilai Kekasaran Hasil Pembubutan Baja St 37," *Jurnal Mechanical Enggining*, pp. 1-14, 2020.
- [4] P. "Pengaruh Kecepatan Dan Sudut Potong Terhadap Kekasaran Benda Kerja Pada Mesin Bubut," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, pp. 53-67, 2015.
- [5] W. M. E. Wattimena and J. Louhenapessy, "Pengaruh Holding Time dan Quenching Terhadap Kekerasan Baja Karbon ST 37 Pada Proses Pack Carburizing Menggunakan Arang Batok Biji Pala (*Myristica fagrans*)," *Teknologi*, pp. 1163-1171, 2014.
- [6] A. Rukma, A. R. Rasyid and A. M. Irfan, "Analisis Getaran Mesin Bubut Emco Maximat V13 akibat Variasi Putaran Mesin dan Kedalaman Pemakanan Pada Proses Bubut Rata Baja ST 42," *Teknologi*, pp. 1-12, 2021.
- [7] C. Anam, K. Muzaka and D. R. Pamuji, "Experimental Study On The Effect Of Cross Feed Of Surface Grinding On The Vibration And The Surface Roughness Of Hardened Tool Steel cr12vm," *Rekayasa Mesin*, pp. 313-322, 2020.
- [8] E. D. Saputra and D. Wulandari, "PERBANDINGAN Tingkat Kekasaran Dan Getaran Pahat Pada Pemotongan Orthogonal Dan Oblique Akibat Sudut Potong Pahat," *JTM*, pp. 99-106, 2017.
- [9] O. B. Hartanto, "Karakteristik Kekasaran Permukaan Pemesinan Bubut Material Baja St-37 Dengan Variasi Parameter Pemesinan Dan Geometri Pahat," Universitas Lampung, Lampung, 2019.
- [10] A. Zubaidi, I. Syafa'at and D. , "Analisis Pengaruh Kecepatan Putar Dan Kecepatan Pemakanan Terhadap Kekasaran Permukaan Material Fcd 40 Pada Mesin Bubut CNC," *Momentum*, pp. 40-47, 2012.
- [11] R. Alfianto and D. Wulandari, "Studi Eksperimen Kecepatan Putar Spindle Dan Kedalaman Potong Terhadap Getaran Pahat Dan Tingkat Kekasaran Pada Proses Pembuatan Poros Menggunakan Mesin Bubut," *JTM*, pp. 61-68, 2018.
- [12] A. Rosandi, W. Sumbodo, H. Yudiono and K. , "Analisis Variasi Kecepatan Potong Dan Kedalaman Potong Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan Dan Getaran Pada Pembubutan Silindris Material Baja ST 60," *Jurnal Inovasi Mesin*, pp. 1-12, 2021.
- [13] B. Pratowo, K. and G. A. Afrian, "Analisa Pengaruh Penggunaan Pahat Jenis HSS dan Variasi Putaran Pada Proses Pembubutan Baja S45C Terhadap Keefektifan Pahat," *Jurnal Teknologi Terapan*, pp. 1-13, 2023.
- [14] Sugiyono, *Metode Penelitian: Pendekatan Kuantitatif, kualitatif, dan R&D*, Bandung: Alfabeta, 2015.
- [15] R. "Pengaruh Kemiringan Benda Kerja dan Kecepatan Pemakanan terhadap Getaran Mesin Frais Universal Knuth UFM 2," *Jurnal Mechanical*, pp. 52-60, 2016.
- [16] M. Panduan Pengajar Buku Dasar - Dasar Metrologi Industri, Jakarta: Proyek Lembaga Pendidikan, 1988.