

Pengaruh Kecepatan Putaran *Spindel* terhadap Kekasaran Permukaan pada Proses *CNC Milling*

Zidan Dwi Cahyo¹, Ebeng Sugondo, S.T., M.T.² and Nurul Fadilah, S.Pd., M.Pd.³

*^{1,2,3} Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknik Mesin

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

e-mail: zidan.3412211045@students.poliabatam.ac.id

Abstrak

CNC (Computer Numerical Control) Secara garis besar pengertian mesin *CNC* adalah suatu mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik (perintah gerakan yang menggunakan angka dan huruf). Proses pemesinan dengan mesin *Milling* adalah metode biasa untuk membuat produk, tetapi hasilnya bisa bervariasi dari halus hingga kasar. Penelitian ini ingin melihat bagaimana variasi kecepatan putaran spindel mempengaruhi hasil permukaan dan mencari kecepatan terbaik untuk mengurangi kekasaran permukaan produk. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekasaran permukaan yang dihasilkan dari variasi kecepatan putaran *Spindel*. Metode yang digunakan dalam penelitian tersebut ialah proses pengujian yang dilakukan sebanyak 3 kali untuk mendapatkan hasil yang sempurna. Material yang digunakan adalah plat *Hardox 450*, dengan mesin *Milling VMC II Kafo*. Tool yang dipakai adalah *U-Drill* berdiameter 22 mm. Material *Hardox 450* terkenal akan kekerasannya dan ketahanan ausnya, sering digunakan dalam industri berat seperti pertambangan dan konstruksi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kecepatan putaran spindel meningkat ke 200 *rpm* dan mencapai puncaknya di 250 *rpm*, kekasaran permukaan menurun secara signifikan (3.0 μ m menjadi 1.8 μ m). Ini menunjukkan bahwa pada 250 *rpm*, telah tercapai titik optimal di mana sisipan *U-Drill* dapat memotong *Hardox* dengan efisien. Panas dapat dikelola dengan baik oleh pendingin internal, dan geram terbuang dengan efektif, menghasilkan permukaan lubang yang paling halus.

Kata kunci: Mesin *Milling* , Kecepatan putaran *Spindle* , Plat baja *Hardox 450*

Abstract

CNC (Computer Numerical Control) In general, the definition of a *CNC* machine is a machine controlled by a computer using a numeric language (movement commands that use numbers and letters). The machining process with a *Milling* machine is a common method for making products, but the results can vary from smooth to rough. This study aims to see how variations in spindle rotation speed affect surface results and find the best speed to reduce product surface roughness. This study aims to determine the surface roughness resulting from variations in spindle rotation speed. The method used in the study is a testing process that is carried out 3 times to get perfect results. The material used is *Hardox 450* plate, with a *VMC II Kafo* *Milling* machine. The tool used is a 22 mm diameter *U-Drill*. *Hardox 450* material is known for its hardness and wear resistance, often used in heavy industries such as mining and construction. The results of this study show that when the spindle speed increases to 200 *rpm* and reaches a peak at 250 *rpm*, the surface roughness decreases significantly (3.0 μ m to 1.8 μ m). This indicates that at 250 *rpm*, the optimum point at which the *U-Drill* insert can cut *Hardox* efficiently has been reached. Heat is well managed by the internal coolant, and metal chips are dispersed effectively, resulting in the smoothest hole surface.

Keywords: *Milling* machine, *Spindle* rotation speed, *Hardox 450* steel plate

1 Pendahuluan

Latar belakang

PT.XYZ telah terus meningkatkan kesuksesan kami sejak awal. Melalui layanan pelanggan yang luar biasa dan kualitas kerja yang tinggi, kami telah mampu berinvestasi dalam teknologi *CNC* canggih, mengubah bisnis sederhana kami menjadi bengkel Pemesinan *CNC* yang besar. Investasi teknologi *CNC* terbaru memungkinkan kami untuk menyediakan kualitas presisi yang paling canggih dan terbaik. Dengan mesin presisi kami, kami mampu memproduksi komponen mesin khusus. Tingkat presisi ini memungkinkan kami untuk memenuhi dan melampaui toleransi yang menuntut dan spesifikasi rumit yang kami penuhi dalam desain komponen klien kami. Dengan fokus dan dedikasi kami terhadap presisi dan kualitas yang tak tertandingi, kami mampu memproduksi komponen berkualitas tinggi untuk spektrum industri dan sektor yang luas. Kami selalu berupaya untuk membina dan membangun hubungan bisnis jangka panjang dengan pelanggan kami dengan menggabungkan tiga elemen utama ke dalam bisnis kami: pengiriman tepat waktu, komponen mesin berkualitas tinggi, dan harga yang kompetitif.

Pengetahuan dan teknologi dari waktu ke waktu mengalami kemajuan yang pesat, semakin modern serta canggih. Salah satunya teknologi di bidang industri pemesinan. Industri pemesinan banyak mengalami permasalahan, yaitu bagaimana menghasilkan produk yang berkualitas dan bagaimana memprediksi biaya pemesinan. Oleh karena itu, dibutuhkan mesin yang dapat menghasilkan produk dengan kualitas terbaik, salah satunya adalah penggunaan mesin *CNC* (Computer Numerically Control). Mesin *CNC* ini mempunyai ketelitian tinggi, ketepatan dimensi, waktu produksi yang lebih efektif, dan produktivitas tinggi. Hasil pengerjaan mesin *CNC* bergantung pada parameter pemesinan, seperti *cutting speed*, *feedrate*, *depth of cut*, material benda, karakteristik pahat, pendinginan dan lainnya. Keberadaan mesin perkakas produksi, menjadikan pengerjaan logam akan semakin efisien serta dengan ketelitian yang tinggi. [1]. Mesin ini dapat memenuhi kebutuhan produksi untuk berbagai produk dengan bentuk yang kompleks. Seperti memproduksi perkakas-perkakas penting yaitu komponen yang memiliki tuntutan kualitas yang tinggi baik secara geometri maupun tingkat kekasaran permukaan hasil pemotongannya. Penelitian tentang parameter pemotongan selama ini hanya sebatas meneliti tentang pengaruh parameter pemotongan terhadap tingkat kekasaran permukaan. Bahwasanya beberapa penelitian tersebut mengatakan bahwa semua parameter pemotongan dari kecepatan putaran, laju pemakanan (*feeding*), kedalaman pemakanan, serta jenis pahat berpengaruh terhadap tingkat kekasaran. Parameter pemotongan itu juga diteliti nilai signifikan pengaruhnya serta dicari urutan parameter pemotongan yang paling berpengaruh terhadap tingkat kekasaran [3].

Permasalahan yang terjadi di lapangan adalah para operator mesin perkakas termasuk operator *Milling*, mereka kesulitan menularkan pengetahuannya secara sistematis dan kuantitatif kepada orang lain. Tindakan trial and error merupakan tindakan coba-coba dengan mengubah parameter pemotongan untuk mendapatkan tingkat kekasaran tertentu. Dari permasalahan tersebut, analisis terhadap salah satu parameter pemotongan perlu dilakukan agar dapat memberikan informasi analitik dan kuantitatif. Analisis terhadap salah satu parameter pemotongan diperlukan juga untuk mengetahui kondisi optimal dari proses pemesinan *Milling*. maka penelitian ini menganalisis pengaruh kecepatan putaran *Spindle* terhadap tingkat kekasaran. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan solusi di lapangan bagi para operator mesin perkakas serta bermanfaat bagi dunia pendidikan.

Material Baja *Hardox 450* banyak digunakan dalam konstruksi karena tahan aus dan memperpanjang masa pakai [5]. Secara mechanical properties *Hardox 450* yang terbuat dari baja *SSAB Zero* tersedia dalam ketebalan 4,0 - 25,4 mm sebagai pelat. Kekerasan *Brinell*, yang diukur menggunakan metode *HBW* sesuai dengan *EN ISO 6506-1*, harus dilakukan pada permukaan yang digiling antara 0,5 hingga 3 mm di bawah permukaan. Setidaknya satu spesimen uji harus diambil dari setiap panas dengan berat minimal 40 ton [6].

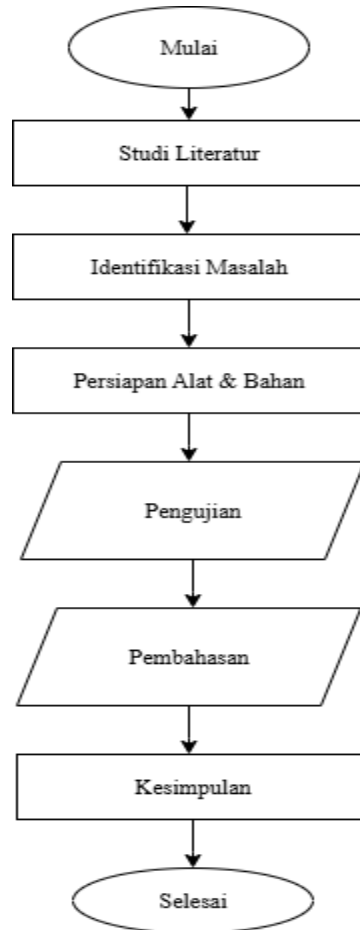
Stenx baja kinerja dan pelat tahan aus *Hardox* adalah kelas baja yang dapat dikerjakan dengan alat baja kecepatan tinggi (*HSS*) atau alat karbida semen (*CC*). Kekerasan *Brinell* adalah ukuran seberapa kuat material melawan tekanan dari bola baja, di mana angka *HBW* yang lebih tinggi menunjukkan kekerasan yang lebih besar. *Tool* yang digunakan proses *drilling* dengan material *hardox* yaitu dengan *Tool* pilihan seperti *U-Drill* Berdiameter 22mm.

Mengingat sifat abrasive dari *Hardox*, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh kecepatan *Spindle* pada proses *CNC Milling* terhadap kekasaran permukaan material. Fokus utama penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaturan parameter yang dapat menghasilkan kekasaran permukaan yang optimal selama proses pemesinan. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat menyelidiki bagaimana kecepatan putaran *Spindle* dapat mempercepat keausan alat potong dan bagaimana dampak tersebut berpengaruh pada kualitas permukaan yang dihasilkan. Pemahaman yang mendalam mengenai aspek-aspek ini sangat penting untuk meningkatkan efisiensi biaya dan kualitas produksi.

2. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian adalah proses atau cara ilmiah untuk mendapatkan data yang akan digunakan untuk keperluan penelitian. Bagian ini membahas hasil pengukuran kekasaran permukaan plat baja *Hardox 450* yang dihasilkan dari *Machine Milling VMC II KAFO* dengan proses *drilling*. Fokus utama adalah kecepatan putaran *Spindle* yang mempengaruhi hasil permukaan produk.

a.) Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir

2.1 Studi Literatur

Studi literatur menunjukkan bahwa kecepatan putaran spindle memiliki peran krusial dalam menentukan kualitas permukaan pada proses *CNC Milling*. Peningkatan kecepatan putaran spindle secara umum menurunkan kekasaran permukaan hingga mencapai titik optimal, yang juga dipengaruhi oleh laju pemakanan dan kedalaman potong.

2.2 Identifikasi masalah

Identifikasi masalahnya adalah terjadi hasil pemesinan pada material plat besi *Hardox 450* yang tidak sempurna. Mengingat sifat abrasif dari *Hardox*, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan putaran *Spindle* pada proses *CNC Milling* terhadap kekerasan permukaan material. Fokus utama penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaturan parameter yang dapat menghasilkan kekasaran permukaan yang optimal selama proses permesinan. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat menyelidiki bagaimana proses machining dapat mempercepat keausan alat potong dan bagaimana dampak kecepatan putaran *Spindle* tersebut berpengaruh pada kualitas permukaan yang dihasilkan.

2.3 Persiapan alat dan bahan

Langkah persiapan alat dan bahan dengan *Tool U-Drill dia.22mm & Insert U Drill* serta material *Hardox 450*.

2.4 Pengujian

Proses ini merupakan langkah yang tepat untuk menentukan keberhasilan pemesinan. Dengan pengujian ini kita menguji 3 kali dengan kecepatan yang berbeda untuk mendapatkan hasil kekasaran permukaan yang halus dan sempurna sesuai dengan keinginan perusahaan PT. XYZ

2.5 Pembahasan

Proses pembahasan ini dilakukan bertujuan supaya operator bisa mengikuti pembahasan pada langkah yang sudah dibuat oleh penulis.

2.6 Kesimpulan

Langkah terakhir pada kesimpulan ini akan dirangkum dari pengujian hasil pemesinan. Dan beberapa point penting yang dapat disampaikan antara lain, dampak positif kecepatan pemakanan dari kesesuaian standar, dan hasil akhir.

3. Analisa Data dan Pembahasan

3.1 Observasi

Observasi ini memperkuat bahwa pengeboran *Hardox 450* dengan *U-drill* memerlukan pendekatan yang sangat hati-hati dan terencana. Tidak ada "satu ukuran cocok untuk semua" dalam pemilihan parameter cutting. Mencapai kinerja optimal melibatkan penyesuaian parameter V_c dan f_n secara cermat, dengan prioritas pada umur pahat, manajemen chip, dan kontrol panas, dari pada sekadar mencapai waktu pengeboran tercepat. Meskipun waktu pengeboran per lubang sedikit lebih lama demi stabilitas dan umur insert dapat menghasilkan efisiensi dan kualitas yang lebih baik secara keseluruhan dalam jangka panjang serta mengurangi kerugian biaya dari insert.

3.2 Identifikasi Masalah

Dalam proses drilling *Hardox* menggunakan *U-Drill* diameter 22mm pada mesin *CNC Milling*, pengaruh kecepatan putaran spindle terhadap kekasaran permukaan adalah area kritis yang sering menimbulkan berbagai masalah. Mengidentifikasi masalah-masalah ini secara spesifik adalah langkah pertama untuk menemukan solusi yang efektif. Oleh sebab itu Perusahaan ingin merubah hasil kerja terutama pada proses hard machining untuk mendapatkan hasil yang permukaan yang halus dan mengurangi biaya yang banyak.

1. *Tool U-Drill (Insertable Drill)*

U drill diameter 22 mm adalah alat potong yang dirancang untuk membuat lubang berdiameter 22 mm dengan efisiensi tinggi, presisi, *U-Drill* merupakan jenis mata bor yang menggunakan sisipan (insert) karbida yang dapat diganti. Tetapi *U-Drill* diameter 22mm Ini dapat juga menghasilkan gaya potong yang lebih tinggi dan potensi panas yang lebih besar dibandingkan dengan mata bor berdiameter kecil. Kekerasan *Hardox* menyebabkan keausan pahat yang sangat cepat, seringkali berujung pada kerusakan pahat (patah atau chipping) jika parameter cutting tidak tepat.

2. *Insert U Drill*

Untuk melakukan pengeboran material *Hardox* menggunakan *U-drill* 22 mm, pemilihan insert sangat krusial. *Hardox* adalah baja tahan aus dengan kekerasan tinggi, sehingga insert harus memiliki karakteristik khusus untuk menahan abrasi dan panas yang ekstrem. Kekerasan material dan gaya potong yang tinggi dapat menyebabkan getaran berlebihan pada mesin dan pahat. Ini berdampak negatif pada kualitas permukaan, akurasi dimensi, dan mempercepat kerusakan pada insert.

3.3 Pengambilan Data

Langkah pengamatan atau observasi adalah teknik pengumpulan data dengan mengamati secara langsung terhadap material dan mesin secara langsung terhadap objek tersebut. Jika hasil dari proses hard machining tidak terjadi kekasaran pada material maka hasil tersebut masuk kriteria acc dengan QC.

Tabel 3.1 Data yang diperoleh dari hasil pengamatan secara langsung sebagai berikut :

Jenis material	Berat material utuh				
Hardox 450	12.56 kg.				
Jenis mesin	Machining Capacity			Max <i>Spindle</i> speed	Remarks
CNC MILLING VMC II KAFO	X axis	Y axis	Z axis	High Gear 1200-3200rpm	Max1200kg
	1200	700	650	Low Gear 0-1200	
Jenis Insert	Jenis Tools				
SANT	SDCT Indexable				
SPGT090408 U-Drill	U Drill 22mm				
Inserts	SPGT0900408				

Dari tabel 3.1 diatas material yang digunakan dengan berat 12,56 Kg dengan ukuran 200mm x 200mm tebal 22mm

3.4 Pengujian

Pada tahap pengujian ini dilakukan berbagai kecepatan untuk mendapatkan perbandingan hasil dari proses drilling yang berbeda. Oleh karena itu pengujian dilakukan sebanyak 3 kali dengan kecepatan putaran *Spindle* yang berbeda-beda.

Tabel 3.2. Hasil *HardMachining* proses drilling menggunakan *U-Drill* diameter 22mm dengan berbagai macam kecepatan putaran *Spindle* pada *CNC Milling VMC II KAFO*

Kecepatan Putaran <i>Spindle</i> (Rpm)	Kekasaran Permukaan (Ra) (um)	Keterangan
150 rpm	4.2	Kekasaran sangat tinggi, gesekan dominan, pengerasan kerja parah
200 rpm	1.8	Kekasaran menurun, pemotongan mulai sedikit efektif
300 rpm	2.5	Kekasaran meningkat, indikasi panas berlebih dan awal keausan.

Berikut penjelasan berdasarkan hasil pengujian pada tabel 3.2, dengan hasil perbandingan 3 kecepatan yang berbeda :

1. Kecepatan 150 rpm

Pada 150 rpm, kekasaran permukaan sangat tinggi (4.2µm). Ini menegaskan bahwa kecepatan potong terlalu rendah untuk diameter 22mm pada *Hardox*. *U-Drill* tidak dapat memotong secara efektif, menyebabkan gesekan parah, pengerasan kerja, dan menghasilkan permukaan yang sangat kasar.



Gambar 2. *U-Drill* tidak dapat memotong secara efektif, permukaan yang sangat kasar.

2. Kecepatan 200 rpm

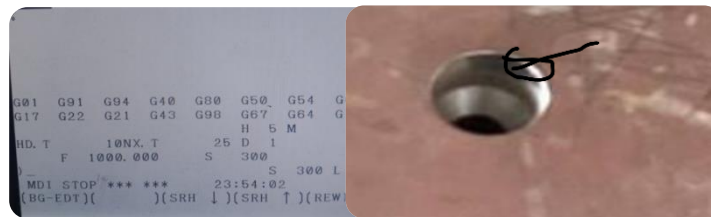
Saat kecepatan putaran spindle meningkat ke 200 rpm, kekasaran permukaan menurun secara signifikan ($4.2\mu\text{m}$ menjadi $1.8\mu\text{m}$). Ini menunjukkan bahwa pada 200 rpm, telah tercapai titik optimal di mana sisipan *U-Drill* dapat memotong *Hardox* dengan efisien. Panas dapat dikelola dengan baik oleh pendingin internal, dan geram terbuang dengan efektif, menghasilkan permukaan lubang yang paling halus.



Gambar 3. Geram terbuang dengan efektif, permukaan lubang yang paling halus.

3. Kecepatan 300 rpm

ketika kecepatan terus ditingkatkan hingga 300 rpm, kekasaran permukaan melonjak drastis $2.5\mu\text{m}$. Hal ini membuktikan bahwa pada kecepatan yang terlalu tinggi, *U-Drill* 22mm yang mengebor *Hardox* mengalami masalah panas berlebih yang parah. Keausan termal pada sisipan sangat cepat, menyebabkan *U-Drill* tumpul dan menghasilkan permukaan yang sangat kasar serta terdapat step dikarenakan insert. Getaran juga kemungkinan besar berkontribusi pada peningkatan kekasaran ini. Pada 300 rpm, kegagalan alat dapat terjadi dengan cepat.



Gambar 4. *U-Drill* tumpul dan menghasilkan permukaan yang sangat kasar.

3.5 Pembahasan

Langkah selanjutnya ialah pembahasan proses machining penggunaan pada *VMC II KAFO* dengan langkah sebagai berikut :

1. Tahapan pertama yaitu mempersiapkan alat-alat seperti *Tools*, insert & *Edge finder*, pastikan pemilihan *U-Drill* yang tepat. Diameter *U-drill* harus sesuai dengan ukuran lubang yang diinginkan.



Gambar 5. Alat-alat seperti *Tool & Insert*

2. Tahapan kedua Hidupkan Machine pastikan mesin menyala dengan baik



Gambar 6. Machine VMC II KAFO

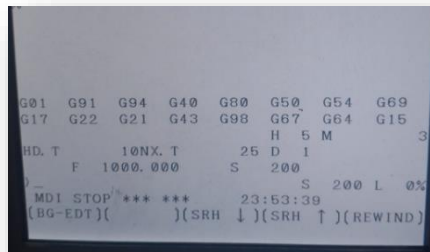
3. Tahapan ketiga adalah melakukan set up *Tool* dan benda kerja ke mesin. Pastikan juga penjepit benda kerja *Hardox 450* tercekam sangat kuat dan stabil pada jig atau ragum yang digunakan. Dikarenakan getaran sekecil apa pun dapat menyebabkan kerusakan pahat dan kualitas lubang yang buruk. serta pastikan gunakan sistem pendinginan yang efisien dan cairan pendingin berkualitas tinggi.



Gambar 7. Benda kerja dijepit dengan baik dan benar.

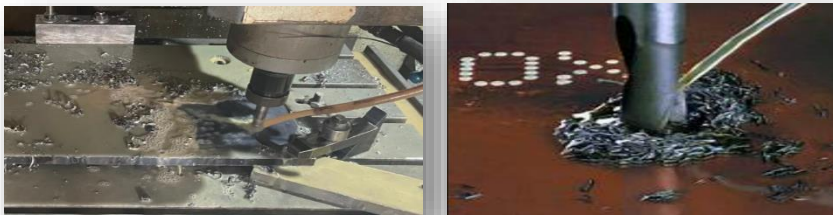
4. Setelah melakukan set up *Tool* dan benda kerja ke mesin, melakukan setting benda kerja dengan menggunakan *edge finder* yang dimana untuk setting titik nol benda kerja x&y dan melakukan settingan titik nol z atau setting *Tool*.

5. Setelah mendapatkan titik nol benda kerja dengan *edge finder* dan *Tool offset*, memasukkan program dan yang paling utama dalam proses machining pastikan parameter pemotongan (*Cutting Parameters*).



Gambar 8. Setelan parameter putaran *Spindle* yang baik.

6. Setelah sudah melakukan penyetelan putaran *Spindle*, lalu mulai proses drilling dan selalu diperhatikan selama proses mesin running.



Gambar 9. Proses *Drilling Material Hardox 450*

8. Setelah selesai melakukan proses drilling hole pertama pastikan terlebih dahulu visual bagus dan insert masih bagus agar tetap menghemat insert dan juga menghindari dari cacat visual.

9. Setelah proses machining benda kerja dibawa ke QC untuk dicek dimension dan visual dari benda kerja yang sudah di machining dengan alat ukur kekasaran yang ada diperusahaan.



Gambar 10. Alat Ukur Kekasaran



Gambar 11. Benda Kerja setelah di *Machining*.

4. Kesimpulan

Fokus utama penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaturan parameter yang dapat menghasilkan kekasaran permukaan yang optimal selama proses permesinan. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat menyelidiki bagaimana proses machining dapat mempercepat keausan alat potong dan bagaimana dampak kecepatan putaran *Spindle* tersebut berpengaruh pada kualitas permukaan yang dihasilkan. Kecepatan putaran *Spindle* adalah kunci utama dikarenakan tidak ada satu kecepatan spindle yang cocok untuk semua kondisi. Terdapat rentang kecepatan putaran spindle yang optimal di mana *U-Drill* dapat memotong *Hardox* secara efisien, menghasilkan permukaan lubang dengan kekasaran paling rendah. Pada titik optimal ini, keseimbangan antara gaya potong, pembentukan geram yang baik, dan manajemen panas tercapai. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa saat kecepatan putaran spindle meningkat ke 200 *rpm*, kekasaran permukaan menurun secara signifikan 1.8 μ m. Ini menunjukkan bahwa pada 200 *rpm*, telah tercapai titik optimal di mana sisipan *U-Drill* dapat memotong *Hardox* dengan efisien. Panas dapat dikelola dengan baik oleh pendingin internal, dan geram terbuang dengan efektif, menghasilkan permukaan lubang yang paling halus.

5. Daftar Pustaka

- [1] Lesmono, I., & Yunus. (2013). Pengaruh Jenis Pahat, Kecepatan Spindel, dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Tingkat Kekasaran dan Kekerasan Permukaan Baja st. 42 pada Proses Bubut Konvensional. *Jtm*, 1, 48–55.
- [2] Prakoso, I., Studi, P., Mesin, T., Teknik, F., & Buana, U. M. (2014). Analisa Pengaruh Kecepatan Feeding Terhadap Kekasaran, 3(3), 1–6.
- [3] Rachmanta, I. A. et al. 2015. Pengaruh Parameter Pemotongan Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Karbon Rendah pada Proses Conventional Menggunakan Pahat End Mill. *Jurnal Teknik Mesin*. Hal: 1-13
- [4] Jaya Suteja, et all. (2008). Optimasi Proses Pemesinan *Milling* Fitur Pocket Material Baja Karbon Rendah Menggunakan Response Surface Methodology. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(1), 1-7. Retrieve d from.
- [5] 1.Pawar N. Laporan Survei Profesional Pasar Baja Kekuatan Tinggi Canggih (AHSS) Otomotif 2019. [(diakses pada 7 Oktober 2022)]. Tersedia daring: <https://dataintel.com/report/global-automotive-advanced-high-strength-steel-ahss-market/>
- [6] SSAB., Pemotongan pelat tahan aus HARDOX, Hardox® TechSupport #16, 2007.
https://www.aemach.com/hardox/hardox_working.htm.