

PENGUJIAN CUTTER ENDMILL HSS DIAMETER 12 MM DENGAN PEMOTONGAN DEPT OF CUT TERHADAP BAJA AMUTIT DI MESIN MILLING LAGUN FU 100 (LFR 25)Antonius Adi Soetopo¹, Mohamad Yazid Diratama², Wandi Daniswara³¹ Teknologi Manufaktur, Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung² Teknologi Pembuatan Perkakas Presisi, Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung³ Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

Jalan Kanayakan No. 21 Dago, Bandung Jawa Barat

thopo@polman-bandung.ac.id¹**Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara parameter pemesinan dan keausan pahat (*flank wear*) dalam proses milling baja amutit (SKS3) menggunakan cutter endmill High-Speed Steel (HSS) diameter 12 mm. Parameter pemesinan yang diteliti meliputi kecepatan potong ($V_c = 14$ m/min dan 18 m/min), laju pemakanan ($F = 30$ mm/min dan 75 mm/min), dan kedalaman potong ($DoC = 0.5, 1, 1.5, 2$ dan 2.5 mm). Metode regresi linier digunakan untuk membangun model matematis yang menghubungkan parameter-parameter tersebut dengan keausan pahat. Data eksperimen diperoleh melalui serangkaian pengujian pemesinan dengan variasi parameter yang telah ditentukan. Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa keausan pahat atau *flank wear* (V_b) dipengaruhi secara signifikan oleh kecepatan potong (V_c), laju pemakanan (F), dan kedalaman potong (DoC), dengan nilai konstanta dan eksponen yang didapatkan melalui transformasi logaritmik dan analisis regresi. Model regresi yang diperoleh memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam memprediksi keausan pahat, meskipun terdapat perbedaan antara nilai V_b teoritis dan V_b aktual. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh faktor-faktor yang tidak terukur dalam eksperimen, seperti variasi dalam material benda kerja atau kondisi lingkungan. Penelitian ini juga memberikan bahwa *cutter endmill* HSS diameter 12 mm terbukti mampu menjalankan proses pemotongan kedalaman pada material baja amutit di mesin *milling* Lagun FU 100 dengan kedalaman potong 5mm.

Kata kunci : baja SKS3, *cutter* HSS, *flank wear*, keausan pahat, parameter pemesinan, pemesinan milling, regresi linie.

Abstract

This study aims to analyze the relationship between machining parameters and tool wear (*flank wear*) in the milling process of amutite steel (SKS 3) using a 12 mm diameter High-Speed Steel (HSS) endmill cutter. The machining parameters studied included cutting speed ($V_c = 14$ m/min and 18 m/min), feed rate ($F = 30$ mm/min and 75 mm/min), and depth of cut ($DoC = 0.5, 1, 1.5, 2$ and 2.5 mm). The linear regression method was used to build a mathematical model relating these parameters to tool wear. Experimental data were obtained through a series of machining tests with predetermined parameter variations. The regression analysis results showed that tool wear or *flank wear* (V_b) was significantly affected by cutting speed (V_c), feed rate (F), and depth of cut (Doc), with constant and exponent values obtained through logarithmic transformation and regression analysis. The regression model obtained has a good level of accuracy in predicting tool wear, although there is a difference between the theoretical and actual V_b values. This discrepancy may be caused by factors not measured in the experiment, such as variations in workpiece material or environmental conditions. This research also provides that the 12 mm diameter HSS endmill cutter is proven to be capable of carrying out the depth-of-cutting process on amutite steel material in the Lagun FU 100 milling machine with the specified depth-of-cut.

Key words : tool wear, *flank wear*, linear regression, milling machining, machining parameters, SKS3 steel, hss cutter.

PENDAHULUAN

Pengujian *tools* HSS (*High Speed Steel*) *endmill* 12 mm merupakan aspek krusial dalam dunia manufaktur dan pemesinan modern. Alat ini umum digunakan dalam berbagai pemesinan *milling*, memainkan peran vital dalam menentukan kualitas produk akhir dan efisiensi proses produksi. Seiring dengan meningkatnya tuntutan akan presisi dan produktivitas, kebutuhan untuk mengoptimalkan kinerja alat pemotong. Pemilihan cutter *endmill* HSS (*High Speed Steel*) didasarkan pada beberapa pertimbangan penting yang mencakup aspek teknis, ekonomis, dan operasional. Dari segi teknis, HSS memiliki ketahanan termal yang baik dimana mampu mempertahankan kekerasannya hingga temperatur 600°C dan tahan terhadap *thermal shock*, sehingga ideal untuk operasi pemesinan dengan kecepatan menengah. HSS *endmill* 12 mm dihadapkan pada beragam kondisi operasi, mulai dari variasi kecepatan potong hingga perbedaan karakteristik material yang dikerjakan [1]. Perkembangan teknologi material, baik dalam hal alat pemotong maupun benda kerja, juga mendorong perlunya evaluasi berkelanjutan untuk mendapatkan performa optimal [2].

Dalam pengujian ini, alat yang digunakan adalah *endmill High-Speed Steel (HSS)* berdiameter 12 mm yang diproduksi oleh pabrikan Jepang, Nachi. *Endmill* HSS ini memiliki tingkat kekerasan antara 681 hingga 711 HB atau setara dengan 63 hingga 65 HRC, yang menjadikannya pilihan yang tepat untuk proses pemesinan dengan ketahanan terhadap keausan yang baik [3].

Pengujian ini menggunakan material baja Amutit (SKS3), yang merupakan salah satu jenis baja perkakas untuk pekerjaan dingin (*cold work tool steel*). Baja Amutit memiliki kekerasan sebesar 190 HB atau setara dengan 12 HRC, sehingga cocok untuk digunakan dalam proses pembentukan mesin. Material ini sering diaplikasikan dalam pembuatan alat *blanking*, *punching*, *shearing*, *coining*, *punch*, *dies*, serta berbagai alat *press tools* lainnya. Baja Amutit juga termasuk dalam kategori baja paduan, yang setara dengan standar DIN 100MnCrW4, AISI O1, dan JIS SKS3 [3]. Baja ini memiliki komposisi unsur utama, yaitu karbon (C) sebesar 0,95%, mangan (Mn) 1,1%, kromium (Cr) 0,5%, vanadium (V) 0,12%, wolfram (W) 0,55%, dan silikon (Si) 0,3%, yang memberikan kekuatan dan ketangguhan pada material ini dalam aplikasi teknik [5].

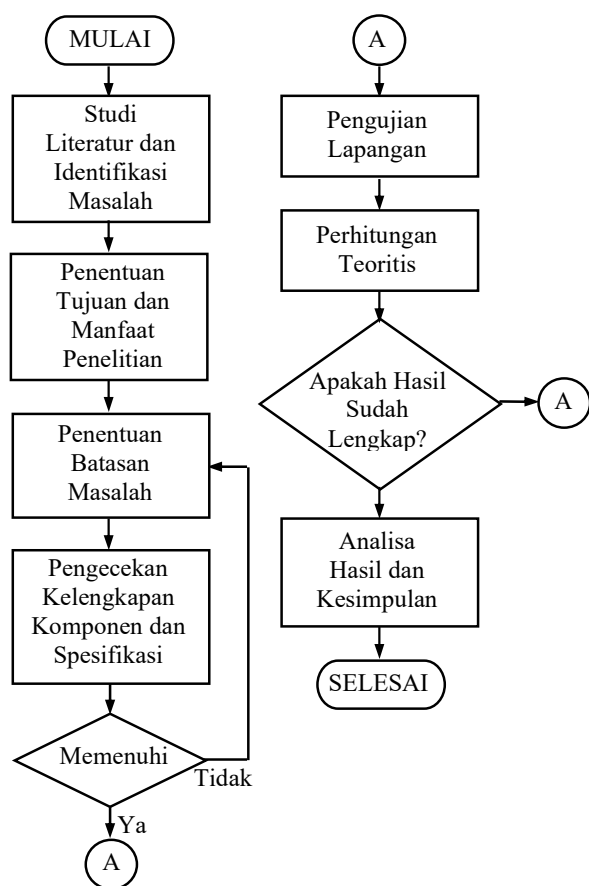
Penggunaan alat potong *endmill* HSS diameter 12 dan material baja Amutit merupakan suatu komponen yang sering digunakan dalam proses produksi maupun pembelajaran praktikum di Politeknik Manufaktur (Polman) khususnya jurusan

Teknik Manufaktur. Kombinasi material ini memberikan keseimbangan yang baik antara ketahanan alat dan kemampuan pemesinan, menjadikannya pilihan yang umum dalam industri dan pendidikan teknik di Polman.

Pada permasalahan tersebut maka dibuatlah penelitian dan ujicoba terhadap kemampuan alat potong *Endmill* HSS diameter 12 mm terhadap material baja amutit (SKS 3) pada mesin *milling universal* lagun FU 100. Pengujian ini dilakukan untuk mencari faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi laju keausan *cutter endmill* HSS diameter 12 mm. Penelitian ini juga membantu dan mengembangkan mahasiswa tentang pemahaman mesin *milling universal* lagun FU 100 dengan menggunakan alat potong *Endmill* HSS diameter 12 mm dalam mencapai titik optimal pada saat pemotongan material baja amutit.

METODE PENELITIAN

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1 Metodologi penelitian

Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan material baja SKS 3 atau nama dagangnya baja amutit dan *cutter endmill* HSS-Co diameter 12 mm. Komposisi kimia dan *material properties* dari bahan tersebut merujuk pada [4] dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut:

Tabel 1 Komposisi kimia baja amutit dalam persen

| C | Si | Mn | V | W | Cr |
|------|-----|-----|------|------|-----|
| 0,95 | 0,3 | 1,1 | 0,12 | 0,55 | 0,5 |

Tabel 2 *Material properties endmill* HSS-Co 12 mm

| Material Properties | Nilai |
|------------------------------|-------------------------|
| Tensile strength (Mpa) | 3250 Mpa |
| Density (kg/m ³) | 8180 kg/mm ³ |
| Yield strength (Mpa) | 3800 Mpa |
| Elastis Modulus (Gpa) | 210 Gpa |

Proses Pemesinan

Proses pemesinan menggunakan mesin *milling* lagun FU 100 (LFR 25) dengan *cutter endmill* HSS-Co Ø 12mm.



Gambar 2 Mesin *milling* Lagun FU 100 (LFR 25)



Gambar 3 *cutter endmill* HSS-Co Ø 12mm

Parameter Permesinan

Parameter pemesinan yang digunakan dalam pengujian ini sebagai berikut [6][7]:

1. Spindle speed

$$n = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times d} \text{ (put/min)(1)}$$

Pengujian ini menggunakan variasi $V_c = 14$ m/min menghasilkan 350 put/min dan $V_c = 18$ m/min menghasilkan 490 put/min (disesuaikan pada daftar rpm yang mendekati di mesin *milling* lagun FU 100).

2. Kecepatan pemakanan

$$V_f = n \times f_z \times Z$$

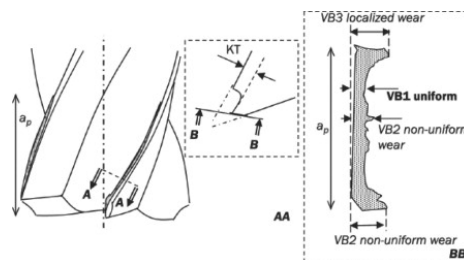
Diketahui pengujian ini menggunakan variasi $F = 30$ mm/min dan 75 mm/min.

3. *Depth of Cut*

Pengujian ini menggunakan kedalaman pemakanan dengan variasi pemakanan sebesar 0.5, 1, 1.5, 2, dan 2.5 mm.

Pengukuran Keausan *Flank wear* (Vb)

Keausan pahat, atau *flank wear* adalah fenomena dimana sisi flank dari pahat mengalami keausan akibat gesekan terus-menerus dengan permukaan benda kerja selama proses pemotongan [8][9]. Keausan ini merupakan salah satu penyebab utama dari kegagalan alat potong, yang dapat mempengaruhi kualitas permukaan benda kerja serta efisiensi dan biaya pemesinan. Standar ISO 8688 Bagian 1 dan 2 (ISO 1989) menjelaskan pola keausan utama dan lokasi keausan alat, yang juga ditunjukkan pada gambar berikut ini:



Gambar 4 *Flank Wear* pada *cutter endmill*

Dalam mengetahui nilai keausan yang terjadi dalam setiap pemotongan menggunakan sebuah digital mikroskop atau *dyno lite*.



Gambar 5 *Dyno Lite*

Model Empiris Flank wear (Vb)

Jenis Pemodelan keausan *cutter* secara empiris melibatkan pengembangan model matematis berdasarkan data hasil eksperimen. Menurut samy el sayed oraby dalam disertasinya menyatakan bahwa salah satu hubungan fungsional antara respons pemotongan dan parameter pemotongan sering kali tidak diketahui secara pasti [10]. Tantangannya adalah untuk sementara waktu memperkirakan hubungan tersebut untuk fungsi respons yang belum diketahui, kemudian, menggunakan kriteria tertentu untuk menilai apakah model yang diasumsikan sudah memadai atau belum. Secara umum, permasalahan ini dapat dinyatakan secara matematis sebagai berikut [10]:

$$R = V_1, V_2, V_3, V_4, \dots, V_p \dots\dots\dots(3)$$

Dimana R adalah respon pemotongan dan V adalah variabel independen. Menurut Friedeman menyarankan bahwa hubungan antara umur *cutter* dan variabel kecepatan pemotongan (Vc) m/min, kecepatan pemakanan (F) mm/min, dan kedalaman potong (DoC) mm, dapat berbentuk persamaan. Persamaan ini disebut persamaan Taylor yang diperluas. diketahui model yang dapat digunakan untuk memprediksi keausan *flank wear* adalah [10]:

$$Vb = C. Vc^p. F^m DoC^n \dots\dots\dots(4)$$

Dimana c, p, m, dan n adalah konstanta yang akan diprediksi dari analisis regresi menggunakan data eksperimen. Bentuk ini dapat dilinierkan dengan menggunakan transformasi logaritmik sehingga bentuknya menjadi linier. Berikut transformasi logaritmik agar bias menjadi linear:

$$\log (vb) = \log (C) + m. \log (Vc) + n. \log (F) + p. \log (DoC) \dots\dots\dots(5)$$

Sebelum melakukan analisis regresi diperlukan untuk memeriksa data apakah dapat dilakukan analisis regresi, adapun syarat yang harus dipenuhi antara lain [11]:

1. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk memeriksa apakah data residual (perbedaan antara nilai yang diamati dan nilai yang diprediksi) dari model regresi berdistribusi normal. Adapun metode yang digunakan, seperti uji Kolmogorov-Smirnov atau Shapiro-Wilk yang digunakan untuk menguji apakah data residual berdistribusi normal dan metode Normal P-P Plot digunakan untuk menunjukan grafik apakah data residual mengikuti distribusi normal [12].

2. Uji Multikolinearitas

Multikolinearitas terjadi ketika dua atau lebih variabel independen sangat berkorelasi, yang dapat menyebabkan masalah dalam estimasi koefisien regresi. Indikator multikolinearitas berupa Variance Inflation Factor (VIF), $VIF > 10$ mengindikasikan adanya multikolinearitas tinggi dan Tolerance, Nilai tolerance < 0.1 menunjukkan adanya multikolinearitas [12].

3. Uji Autokorelasi

Uji autokorelasi digunakan untuk memeriksa apakah ada hubungan antara residual yang berdekatan dalam data time series. Autokorelasi yang signifikan dapat mengindikasikan bahwa model regresi tidak valid. Indikator uji autokorelasi berupa nilai Durbin-Watson mendekati 2 menunjukkan tidak adanya autokorelasi dan nilai yang jauh dari 2 (misalnya < 1 atau > 3) mengindikasikan adanya autokorelasi [11].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Kekerasan Material dan Cutter

Pengujian ini dilakukan sebagai langkah awal sebelum melakukan pengambilan data. Data ini bertujuan untuk memastikan material yang digunakan sesuai dan dapat dilakukan untuk pengambilan data pengujian. Dalam pengujian ini, material yang digunakan adalah baja amutit atau SKS 3. Pengujian ini untuk memastikan bahwa material yang digunakan adalah baja SKS 3. Dalam pengujian kekerasan material ini dilakukan di laboratorium manufaktur sektor fabrikasi. Pengujian ini menggunakan mesin *Future Tech FX-R* dengan jenis penyettingan HRB (*hardness rockwell B*) dan indentor yang digunakan adalah indentor baja. Hal yang perlu diperhatikan adalah permukaan dari material yang akan diuji perlu bersih dari goresan agar dapat hasil yang maksimal. Berikut hasil pengujiannya:

Tabel 3 Hasil kekerasan baja Amutit SKS3/Amutit

| SKS3/Amutit | |
|-------------|-----|
| HB1 | 190 |
| HB2 | 200 |
| HB3 | 200 |
| HBavg | 197 |

Didapatkan hasil dari pengujian kekerasan material setelah dikonversi menjadi hardbrinell adalah 197 HB.



Gambar 6 Pengukuran kekerasan baja amutit

Selanjutnya dalam pengujian ini, *tool* yang digunakan adalah endmill HSS Co berdiameter 12 mm. Pengujian ini untuk memastikan bahwa *tool endmill* ini sesuai dengan kekerasan seharusnya. Dalam pengujian kekerasan material ini dilakukan ditempat yang sama yaitu di laboratorium manufaktur sector fabrikasi. Pengujian ini menggunakan mesin *Future Tech FX-R* dengan jenis penyettingan yang berbeda yaitu HRC. Dalam pengujian ini *tool* diletakan di v blok agar *tool* tidak bergerak pada saat pengujian. Berikut hasil dari pengujiannya:

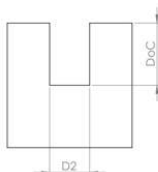
Tabel 4 Hasil kekerasan cutter endmill HSS 12 mm

| Endmill HSS Co | |
|----------------|----|
| HRC | 65 |
| HRC | 65 |
| HRC | 60 |
| HRCavg | 63 |

Didapatkan hasil dari kekerasan *tool endmill* adalah 63 HRC.

Hasil Dept of Cut yang didapatkan

Hasil kedalaman pemakanan pada parameter pertama yang didapatkan setelah proses pemesinan tertera pada tabel 5:



Tabel 5 Hasil Doc parameter 1

| Doc (mm) | Doc Act (mm) | D2 (mm) |
|----------|--------------|---------|
| 0,5 | 0,5 | 12 |
| 1 | 1 | 12 |
| 1,5 | 1,5 | 12 |
| 2 | 2 | 12 |
| 2,5 | 2,5 | 12 |

Diketahui parameter yang digunakan dalam mendapatkan hasil *depth of cut* ini adalah *velocity cutting* (V_c) = 14 m/min, *Feed rate* = 30 mm/min. Didapatkan hasil dari pengukuran menggunakan *dept gauge* untuk mengukur kedalaman pemakanan dan jangka sorong untuk mengukur lebar alur hasil pemotongan kedalaman yang terjadi dan hasil *depth of cut aktual* adalah sama. Maka dapat disimpulkan hasil yang diterima baik dan tidak adanya selisih yang terjadi pada saat pemesinan.

Kemudian hasil kedalaman pemakanan pada parameter pertama yang didapatkan setelah proses pemesinan tertera pada tabel 6.

Tabel 6 Hasil Doc parameter 2

| Doc (mm) | Doc Act (mm) | D2 (mm) |
|----------|--------------|---------|
| 0,5 | 0,5 | 12 |
| 1 | 1 | 12 |
| 1,5 | 1,5 | 12 |
| 2 | 2 | 12 |
| 2,5 | 2,5 | 12 |

Diketahui parameter yang digunakan dalam mendapatkan hasil *depth of cut* ini adalah *velocity cutting* (V_c) = 18 m/min, *Feed rate* (F) = 75 mm/min. Didapatkan hasil dari pengukuran menggunakan *dept gauge* untuk mengukur kedalaman pemakanan dan jangka sorong untuk mengukur lebar alur hasil pemotongan kedalaman yang terjadi dan hasil *depth of cut aktual* adalah sama. Maka dapat disimpulkan hasil yang diterima baik dan tidak adanya selisih yang terjadi pada saat pemesinan.

Dari kedua data tersebut dapat dilihat bahwa *cutter endmill* HSS diameter 12 mm mampu untuk memotong kedalaman material baja amutit dengan mesin *milling* lagun FU 100 dengan baik. Dengan parameter yang telah ditetapkan dan kemampuan mesin yang tersedia menghasilkan kedalaman pemotongan yang sesuai dengan apa yang diharapkan.

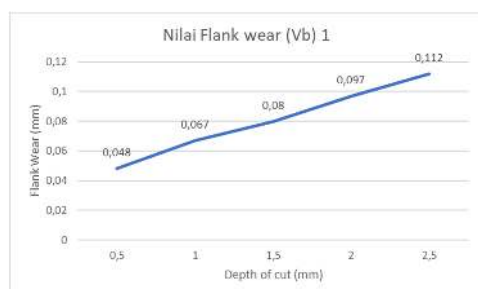
Hasil Pengukuran Flank Wear pada Cutter endmill HSS diameter 12 mm

Karakteristik Pengukuran keausan ini didapatkan dari pengukuran hasil dyno lite setelah terjadi pemotongan. Nilai v_b ini didapatkan dari parameter pertama dengan V_c = 14 m/min, F = 30 mm/min dan rpm = 350 put/min.

Tabel 7 Hasil Doc terhadap V_b parameter ke 1

| DoC (mm) | V_b (mm) | | | | |
|----------|------------|--------|--------|--------|-----------|
| | V_b1 | V_b2 | V_b3 | V_b4 | $V_b Avg$ |
| 0,5 | 0,048 | 0,048 | 0,048 | 0,048 | 0,048 |
| 1 | 0,067 | 0,067 | 0,067 | 0,067 | 0,067 |

| | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1,5 | 0,085 | 0,075 | 0,075 | 0,085 | 0,080 |
| 2 | 0,107 | 0,094 | 0,094 | 0,094 | 0,097 |
| 2,5 | 0,115 | 0,104 | 0,115 | 0,115 | 0,112 |



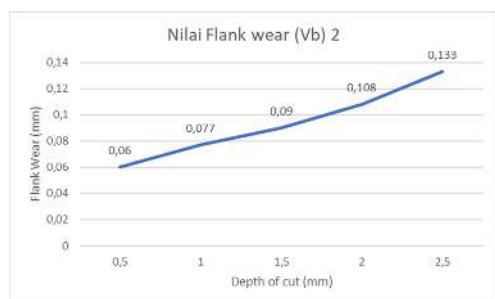
Gambar 7 Grafik flank wear (Vb) parameter ke 1

Berdasarkan hasil pengujian dan dilihat dari grafik bahwa keausan cutter meningkat seiring bertambahnya *depth of cut* (DoC). Pada DoC 0,5 mm dan 1 mm, keausan masih dalam batas normal dengan selisih kecil antara tepi cutter. Namun, pada DoC 1,5 mm, 2 mm, dan 2,5 mm, selisih keausan antar tepi mulai signifikan, dengan tepi no 1 dan 4 menunjukkan keausan lebih besar. Keausan tertinggi terjadi pada DoC 2 mm, khususnya di tepi no 1, sedangkan pada DoC 2,5 mm, tepi no 2 memiliki keausan terkecil. Ini menunjukkan bahwa peningkatan DoC mempengaruhi distribusi keausan pada cutter secara tidak merata.

Selanjutnya didapatkan dari parameter kedua dengan $V_c = 18$ m/min, $F = 75$ mm/min dan rpm = 490 put/min.

Tabel 8 Hasil Doc terhadap Vb parameter ke 2

| DoC (mm) | Vb (mm) | | | | |
|----------|---------|-------|-------|-------|--------|
| | Vb1 | Vb2 | Vb3 | Vb4 | Vb Avg |
| 0,5 | 0,057 | 0,057 | 0,067 | 0,057 | 0,060 |
| 1 | 0,078 | 0,078 | 0,075 | 0,078 | 0,077 |
| 1,5 | 0,085 | 0,094 | 0,085 | 0,096 | 0,090 |
| 2 | 0,102 | 0,102 | 0,114 | 0,114 | 0,108 |
| 2,5 | 0,137 | 0,131 | 0,131 | 0,131 | 0,133 |



Gambar 8 Grafik flank wear (Vb) parameter ke 2

Berdasarkan hasil pengujian parameter kedua, keausan cutter cenderung meningkat dengan

bertambahnya *depth of cut* (DoC). Pada DoC 0,5 mm, nilai *flank wear* masih dalam batas normal, meskipun lebih besar dibandingkan parameter awal. Pada DoC 1 mm, tepi no 3 mengalami keausan paling kecil dengan selisih 0,017 mm dari DoC 0,5 mm. Pada DoC 1,5 mm, keausan semakin meningkat dengan selisih 0,013 mm dari DoC 1 mm. Pada DoC 2 mm, tepi no 3 dan 4 mengalami keausan tertinggi sebesar 0,114 mm. Pada DoC 2,5 mm, tepi no 1 memiliki keausan terbesar sebesar 0,137 mm, dengan selisih 0,025 mm dari DoC 2 mm. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan DoC secara signifikan mempengaruhi keausan cutter, terutama pada tepi tertentu.

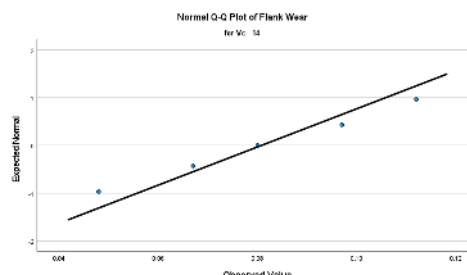
Hasil Uji Normalitas

| | Test of Normality | | | | | | |
|------------|-------------------|-----------|----|-------|-----------|------|-------|
| | Cutting Speed | Statistic | df | Sig. | Statistic | Sig. | |
| Flank Wear | 14 | 0.141 | 5 | 0.200 | 0.990 | 5 | 0.980 |
| | 18 | 0.149 | 5 | 0.980 | 0.980 | 5 | 0.972 |

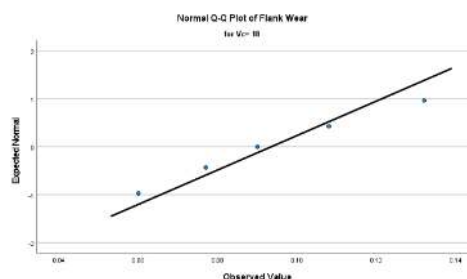
*. This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

Gambar 9 Hasil uji normalitas

Pengujian ini diolah menggunakan software SPSS dan didapatkan bahwa Diketahui bahwa nilai *p-value* dari uji Kolmogorov-Smirnov atau Shapiro-Wilk > 0.05, maka data residual dianggap berdistribusi normal.



Gambar 10 Grafik Hasil Uji Normalitas Vc 14m/min



Gambar 11 Grafik Hasil Uji Normalitas Vc 18m/min

Diketahui pada gambar 9 bahwa nilai dari V_c 14 m/min dan V_c 18 m/min pada uji normalitas Kolmogorov-Smirnov memiliki nilai yang sama yaitu 0,200 dan nilai untuk uji normalitas menurut Shapiro-Wilk dengan V_c 14 m/min memiliki nilai 0,980 dan V_c 18 m/min memiliki nilai 0,972. Pada grafik ini bahwa data keausan *cutter* terdistribusi normal karena memiliki nilai p value > 0,05. Pada titik-titik plot ini terlihat tidak jauh mengikuti dari garis lurus, sehingga data ini menunjukkan sebagai data keausan *cutter* terdistribusi normal dan salah satu syarat uji regresi linear ganda sudah terpenuhi.

Hasil Uji Multikolinearitas

| Model | Coefficients ^a | | | | | |
|--------------|-------------------------------|------------|--------------------------------|---------|-------|---------------------------------------|
| | Unstandardized Coefficients B | Std. Error | Standardized Coefficients Beta | t | Sig. | Collinearity Statistics Tolerance VIF |
| 1 (Constant) | -1.410 | .060 | | -23.415 | 0.990 | |
| LOG F | .164 | .036 | .256 | 4.607 | 1.000 | 1.000 |
| LOG DoC | .494 | .029 | .955 | 17.199 | 0.980 | 1.000 1.000 |

a. Dependent Variable: LOG_Vb

Gambar 12 Hasil Uji Multikolinearitas

Diketahui nilai toleransi harus berada di antara 0,0 – 1. Jika dilihat dari table nilai dari semua variable tidak ada yang kurang dari angka 0,0 maupun lebih dari angka 1. VIF juga harus lebih rendah dari angka 10. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data pengujian ini tidak mengalami multikolinearitas dan syarat uji regresi linear berganda terpenuhi.

Hasil Uji Autokorelasi

| Model Summary ^b | | | | | |
|----------------------------|--------------------|----------|-------------------|---------------------------|---------------|
| Mode | R | R Square | Adjusted R Square | Std Error of the Estimate | Durbin Watson |
| 1 | 0,989 ^a | 0,978 | 0,972 | 0,02241 | 1,345 |

a. Predictors: (Constant), Log_DoC, Log_F

b. Dependent Variable : Log_Vb

Gambar 13 Hasil Uji Autokorelasi

Diketahui bahwa nilai dari Durbin Watson menunjukkan nilai 1,345. Angka ini lebih besar dari 1 dan lebih kecil dari angka 3. Secara ringkas $1 < 1,345 < 3$. Karena nilai dari Durbin Watson berada diantara dua angka batasan autokorelasi, maka dapat disimpulkan bahwa data ini tidak mengalami autokorelasi dan syarat uji regresi linear berganda telah terpenuhi.

Hasil Flank Wear (Vb) teoritis

Diketahui rumus yang digunakan untuk mendapatkan hasil *flank wear* pada saat pengujian, sebagai berikut:

$$Vb = C \cdot Vc^p \cdot F^m \cdot Doc^n$$

Kemudian didapatkan konstanta dari

$$C = 10^{-1,410} = 0,038$$

$$p = 0,01$$

$$m = 0,16$$

$$n = 0,49$$

Konstanta tersebut didapat dari hasil pengolahan *software* SPSS dari data parameter *velocity cutting* (V_c), *federate* (F), dan *depth of cut* (DoC) yang dilakukan. Didapatkan hasil dari perhitungan diatas dapat dilihat pada table 9, sebagai berikut:

Tabel 9 hasil Vb teoritis untuk parameter ke 1 & 2

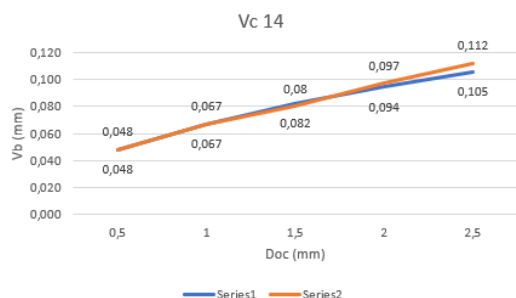
| Vc (m/min) | Doc (mm) | F (mm/min) | Vb teoritis (mm) |
|------------|----------|------------|------------------|
| 14 | 0,5 | 30 | 0,048 |
| 14 | 1 | 30 | 0,067 |
| 14 | 1,5 | 30 | 0,082 |
| 14 | 2 | 30 | 0,094 |
| 14 | 2,5 | 30 | 0,105 |
| 18 | 0,5 | 75 | 0,056 |
| 18 | 1 | 75 | 0,078 |
| 18 | 1,5 | 75 | 0,095 |
| 18 | 2 | 75 | 0,110 |
| 18 | 2,5 | 75 | 0,122 |

Perbandingan Vb teoritis dan Vb Aktual

Kemudian dibuat perbandingan antara Vb teoritis dan Vb actual untuk mengetahui berapa selisih dan keakuratan yang terjadi, maka dibawah ini hasil perbandingan yang didapatkan.

Tabel 10 Hasil perbandingan Vb Act. Dan Vb teo

| Vb teoritis (mm) | Vb Aktual (mm) | |
|------------------|----------------|-------|
| 0,048 | 0,048 | 0 |
| 0,067 | 0,067 | 0 |
| 0,082 | 0,08 | 0,002 |
| 0,094 | 0,097 | 0,003 |
| 0,105 | 0,112 | 0,007 |
| 0,056 | 0,06 | 0,004 |
| 0,078 | 0,077 | 0,001 |
| 0,095 | 0,09 | 0,005 |
| 0,110 | 0,108 | 0,002 |
| 0,122 | 0,132 | 0,010 |

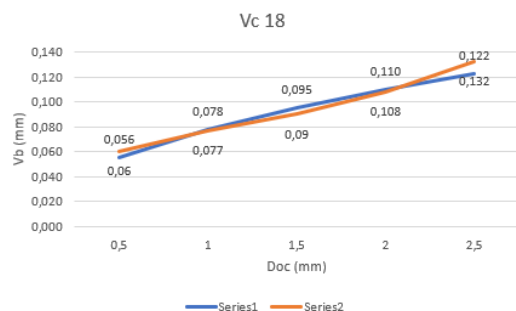


Gambar 14 Grafik Vb terhadap Doc pada Vc 14 m/min

Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara Vb (*flank wear*) dan Doc (*depth of cut*), dengan dua seri data yang dibandingkan: Series1 (garis biru) yang mewakili *flank wear* teoritis dan Series2 (garis oranye) yang mewakili *flank wear* aktual. Sumbu horizontal mewakili nilai DoC (mm), sedangkan sumbu vertikal menunjukkan nilai Vb (mm). diketahui bahwa:

- *Flank wear* meningkat secara linear seiring dengan bertambahnya kedalaman potong (Doc).
- Pada nilai DoC yang sama, *flank wear* aktual (Series2) umumnya lebih besar daripada *flank wear* teoritis (Series1), walaupun perbedaannya kecil.
- Pada DoC 0,5 mm, baik *flank wear* teoritis maupun *flank wear* aktual memiliki nilai yang sama, yaitu 0,048 mm.
- Seiring peningkatan kedalaman potong hingga 2,5 mm, perbedaan antara *flank wear* teoritis dan aktual semakin besar, di mana *flank wear* aktual mencapai 0,112 mm, sedangkan teoritis mencapai 0,105 mm.

Kemudian untuk grafik parameter kedua yaitu:



Gambar 15 Grafik Vb terhadap Doc pada Vc 18 m/min

Grafik ini menjelaskan bahwa:

- *Flank wear* (Vb) terus meningkat secara linier seiring dengan bertambahnya kedalaman potong (DoC) dari 0,5 mm hingga 2,5 mm.
- Pada DoC 0,5 mm, terdapat sedikit perbedaan antara *flank wear* teoritis (0,06 mm) dan *flank wear* aktual (0,056 mm).
- Saat DoC meningkat menjadi 1 mm, perbedaan antara keduanya mengecil, dengan Vb teoritis sebesar 0,078 mm dan Vb aktual sebesar 0,077 mm, menunjukkan hasil yang hampir sama.
- Pada DoC 1,5 mm, *flank wear* aktual lebih rendah dari teoritis, yaitu 0,09 mm dibandingkan dengan 0,095 mm.
- Ketika DoC mencapai 2,5 mm, *flank wear* aktual sedikit lebih besar daripada *flank wear* teoritis, dengan nilai 0,132 mm untuk aktual dan 0,122 mm untuk teoritis.

KESIMPULAN

Berdasarkan dari grafik Vb yang dibuat bahwa Vb Teoretis menunjukkan hubungan linier di mana keausan *cutter* endmill HSS 12 mm meningkat secara linear dengan peningkatan kedalaman pemotongan. Ini berarti model teoretis mengasumsikan peningkatan keausan yang stabil, sedangkan Vb Aktual menunjukkan bahwa keausan *cutter* juga meningkat seiring dengan bertambahnya dengan kedalaman pemotongan.

Berdasarkan hasil analisis regresi, variabel *depth of cut* (DoC) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap keausan pahat (Vb). Hal ini ditunjukkan oleh nilai p-value sebesar 0,001, yang lebih kecil dari nilai alpha (α) yang ditetapkan, yaitu 0,05. Oleh karena nilai p-value < 0,05, kita dapat menyimpulkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara *depth of cut* (DoC) dengan keausan *cutter* (Vb). Dengan demikian, DoC merupakan faktor yang berpengaruh terhadap keausan *cutter* endmill HSS diameter 12 mm.

Model matematis yang dikembangkan dalam penelitian ini mampu memprediksi keausan *cutter* dengan tingkat akurasi yang baik. Perbandingan antara nilai Vb teoritis dan Vb aktual menunjukkan kesesuaian yang signifikan, dengan nilai perbedaan terkecil 0,001 mm pada Vc 14 m/min dengan pemotongan 0,5 mm dan 1 mm, adapun selisih terbesar 0,010 mm pada Vc 18 m/min dengan kedalaman pemotongan 2,5mm. Kedua grafik VB menunjukkan bahwa untuk setiap peningkatan kedalaman potong, keausan *flank* (Vb) meningkat, dan pada kondisi tertentu, kecepatan potong yang lebih tinggi (Vc 18) menghasilkan keausan *flank* yang lebih besar dibandingkan dengan kecepatan potong yang lebih rendah (Vc 14).

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih atas kerjasama dan kolaborasi dari seluruh dosen dan para pengajar lainnya yang berada di Laboratorium Teknik Manufaktur Politeknik Manufaktur Bandung yang telah mendukung penelitian ini secara maksimal.

- [11] M. G. Mona, J. S. Kekenusa, dan J. D. Prang, "Penggunaan Regresi Linear Berganda untuk Menganalisis Pendapatan Petani Kelapa: Studi Kasus Petani Kelapa di Desa Beo, Kecamatan Beo, Kabupaten Talaud," *Jurnal Penelitian Pertanian*, vol. 7, no. 2, pp. 123-135, 2020.
- [12] I. Istijanto, *Belajar Otodidak SPSS Pasti Bisa*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 2020.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] urbeyni, fariq. (2020). PENGARUH PARAMETER PERMESINAN TERHADAP BURR FORMATION PADA PROSES MILLING DENGAN CNC ROUTER ALUMINIUM SHEET 1100. *Machine : Jurnal Teknik Mesin*, 6(1), 14-19. <https://doi.org/10.33019/jm.v6i1.1178>
- [2] D V. Abriandika, A. A. Sonief, and Y. S. Irawan, "Pengaruh pahat end mill normal dan variabel helix angle pada metode pocket zig-zag terhadap chatter," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 2, pp. 639–648, doi: 10.21776/jrm.v14i2.1419, 2023.
- [3] Friska Ari Yessika, Pengaruh Variasi Jenis Baja Terhadap Keausan End Mill Cutter Hss Pada Proses Pemesinan Cnc Milling, 2019.
- [4] Karmin, Muchtar Ginting, Nalisis Peningkatan Kekerasan Baja Amutit menggunakan Media Pendingin Dromus, 2012.
- [5] Arifin, N. M. et al. Pengaruh Parameter Proses Freis Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Karbon Fasa Ganda. *Jurnal Rekayasa Teknik Mesin*. Vol 2, 2011.
- [6] Widarto. *Teknik Pemesinan Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008.
- [7] S. Kalpakjian and S. R. Schmid, *Manufacturing Engineering and Technology*, 6th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2010.
- [8] Analysis et al., "analisis kualitas lubang material carbon fiber reinforced polymer menggunakan pahat end mill two flute di bawah pengaruh variabel program pascasarjana reinforced polymer menggunakan pahat," 2020.
- [9] Zainuddin., Harjanto Budi., Wijayanto Danar Susilo. Pengaruh Sudut Penyayatan Dan Jumlah Mata Sayat Endmill Cutter Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Baja St 40 Hasil Pemesinan Cnc Milling Tosuro Kontrol Gsk 983 Ma-H. *Jurnal Nospel*, 2013.
- [10] S. E. Oraby, *Mathematical Modelling and In-Process Monitoring Techniques for Cutting Tools**. Disertasi Ph.D., Universitas Suez-Canal, Port Said, Mesir, 1988.