

## OPTIMASI KEAUSAN PAHAT PROSES FINISHING CNC TURNING PADA MATERIAL EMS 45 MENGUNAKAN METODE TAGUCHI

Agung Nuril Hijas<sup>1</sup>, Kriswanto<sup>2</sup>, Dony Hidayat Al-Janani<sup>1</sup>, Ahmad Roziqin<sup>3</sup>,  
Rusiyanto<sup>4</sup>, Heri Yudiono<sup>5</sup>, Arimaz Hangga<sup>6</sup>, Bayu Wiratama<sup>7</sup>, and Bagus Wijayanto<sup>8</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Mechanical Engineering Department, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

<sup>6</sup> Electrical Engineering Department Universitas Negeri Semarang

<sup>7</sup> Management Department Universitas Negeri Semarang

<sup>8</sup> BPTIKM UPT Logam, Muktiharjo Lor, Semarang, Indonesia

[agung.hijas@students.unnes.ac.id](mailto:agung.hijas@students.unnes.ac.id)

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor yang dapat mempengaruhi keausan pahat optimal. Penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental menggunakan metode Taguchi dan pendekatan ANOVA. Eksperimen berdasarkan orthogonal array L9 dengan variasi parameter yaitu *cutting speed* (150, 200, 240) m/min, *feed* (0,1, 0,15, 0,2) mm/put, dan *depth of cut* (0,2, 0,4, 0,6) mm. Mesin yang digunakan yaitu mesin CNC Fanuc Oi mate, pahat insert carbide VNMG berlapis (Al, TiN), dan material baja EMS 45. Hasil ANOVA pada penelitian ini menunjukkan bahwa parameter yang dapat mempengaruhi keausan pahat optimal adalah *cutting speed* urutan 1, *depth of cut* urutan 2, dan *feed* urutan 3. Adapun parameter yang menghasilkan keausan paling optimal (minimal) adalah *cutting speed* 150 mm/min, *feed* 0,1 mm/put, dan *depth of cut* 0,2 mm. Adapun mekanisme keausan yang dominan terjadi yaitu keausan tepi (flank wear) dan abrasif.

**Kata Kunci:** Waktu Pemesinan Optimal, Keausan Pahat Optimal, Taguchi, ANOVA, Signal to Noise Ratio.

### Abstract

*This study aims to analyze the factors that can affect optimal tool wear. The research used is experimental research using the Taguchi method and the ANOVA approach. Experiments based on the L9 orthogonal array with various parameters, namely cutting speed (150, 200, 240) m/min, feed (0.1, 0.15, 0.2) mm/put, and depth of cut (0.2, 0.4, 0.6) mm. The machines used are Fanuc Oi mate CNC machines, VNMG plated carbide insert chisels (Al, TiN), and EMS 45 steel material. The ANOVA results in this study indicate that the parameters influencing optimal tool wear are cutting speed of order 1, depth of cut sequence 2, and feed sequence 3. The parameters that produce the most optimal (minimum) wear are a cutting speed of 150 mm/min, feed of 0.1 mm/put, and depth of cut of 0.2 mm. The dominant wear mechanisms that occur are flank wear and abrasive wear.*

**Keywords:** hining Time, Optimal Tool Wear, Taguchi, ANOVA, Signal to Noise Ratio.

### PENDAHULUAN

Mesin CNC merupakan mesin yang banyak digunakan dalam proses pemesinan di industri manufaktur. Mesin CNC Turning yang dimiliki Laboratorium teknik mesin Universitas Negeri Semarang merupakan mesin dengan spesifikasi rendah dengan seri Fanuc Oi-Mate TC, X Axis travel 200 mm, Z Axis Travel (mm) 760 mm, Maksimal Putaran Spindel 1000 Rpm, tentunya berbeda dengan spesifikasi yang dimiliki oleh industri.

Pembuatan benda kerja dari hasil pengerjaan mesin CNC Turning sangat berpengaruh terhadap parameter pemesinan seperti kecepatan potong (*cutting speed*), kecepatan pemakanan (*feeding speed*), kedalaman potong (*depth of cut*) (Nayse, 2017). Menurut Bayuseno (2010) menyatakan bahwa kecepatan potong akan sangat berpengaruh terhadap umur pahat, apabila semakin tinggi kecepatan potong yang digunakan maka umur pahat akan semakin cepat berkurang, sehingga dengan menggunakan media pendingin akan berpengaruh terhadap panjangnya umur pahat.

Keausan pahat dapat terjadi karena proses pemotongan logam yang bersumber dari

bermacam-macam faktor diantaranya berupa material yang digunakan, alat pemesinan, jenis alat potong, pendingin (coolant), dan kondisi pemotongan material. Adapun secara umum mekanisme keausan pahat dapat berupa abrasi, diffusion, thermal fatigue, deformasi plastis (Abidin, 2010). Menurut Lubis et al., (2016) mekanisme keausan yang terjadi adalah proses adhesi yaitu pada saat proses pemesinan berlangsung pada mata pahat dan benda kerja terjadi tumpukan metal. Adapun geram yang stabil menghasilkan temperature mata pahat benda kerja semakin tinggi sehingga dapat merusak mata pahat lebih cepat.

Menurut Suhendi, et.al., (2019) dari analisis yang dilakukan menyatakan bahwa apabila semakin besar kecepatan spindle pada proses turning, penyayatan yang dilakukan semakin dalam, dan juga semakin besar perbandingan cairan pendingin, akibatnya semakin besar pula nilai keausan yang dihasilkan suatu pahat. Menurut Budiman dan Richard (2007) menyatakan bahwa pada geram makan dengan meningkatkan kecepatan potong dapat mengakibatkan terjadinya kenaikan keausan tepi pada pahat sehingga umur pahat

tidak akan lama. Menurut Soesanti et.al., (2012) bahwa umur pahat diartikan sebagai periode waktu yaitu keausan tepinya mencapai 0,3 mm atau keausan tepi maksimum mencapai 0,6 mm. untuk menghasilkan periode waktu ini dibutuhkan waktu yang cukup banyak dengan material yang banyak pula. Salah satu metode optimasi yang dikembangkan yang berguna untuk meningkatkan kinerja, mengurangi biaya produksi dari banyaknya percobaan dengan mendapatkan mutu yang baik dan populer digunakan yaitu metode Taguchi. Taguchi merupakan metode yang dapat digunakan untuk mendapatkan tingkat optimasi pemesinan yang unggul, peningkatan signifikan dan efisiensi proses dengan mengoptimalkan kombinasi dari parameter (Gupta et al., 2011).

Berdasarkan pemaparan latar belakang diatas, dalam penelitian ini untuk mengoptimalkan waktu pemesinan dan keausan pahat, penulis menggunakan metode Taguchi orthogonal array dengan merancang percobaan seefisien mungkin, menganalisa data percobaan dan dapat menentukan eksperimen minimal sehingga menghasilkan informasi sebanyak mungkin dari faktor-faktor yang dapat mempengaruhi parameter pemesinan. Peneliti melakukan uji pada baja karbon menengah yaitu pada material baja EMS 45 yang memiliki sifat dan karakteristik tahan aus.

**Metode**

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yaitu penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh suatu perlakuan terhadap pengaruh yang lain dalam kondisi yang terkendali. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Taguchi. Metode Taguchi menggunakan 3 (Tiga) faktor dengan masing-masing memiliki 3 (Tiga) level. Matriks dari Taguchi menggunakan *orthogonal array* dan *Orthogonal array*.

**Tabel 1.** Desain pengumpulan data mekanisme keausan pahat

| No.  | Parameter |          |         |
|------|-----------|----------|---------|
|      | A         | B        | C       |
| Eks. | CS        | F        | DoC(mm) |
|      | (mm/min)  | (mm/put) |         |
| 1    | 150       | 0,1      | 0,2     |
| 2    | 150       | 0,15     | 0,4     |
| 3    | 150       | 0,2      | 0,6     |
| 4    | 200       | 0,1      | 0,4     |
| 5    | 200       | 0,15     | 0,6     |
| 6    | 200       | 0,2      | 0,2     |
| 7    | 240       | 0,1      | 0,6     |
| 8    | 240       | 0,15     | 0,2     |
| 9    | 240       | 0,2      | 0,4     |

Taguchi memperkenalkan pendekatan signal to noise ratio yang bertujuan untuk mempelajari pengaruh faktor kebisingan (noise) terhadap variasi yang dihasilkan. Jika semakin kecil nilainya semakin optimal waktunya. Begitupun keausan pahat jika semakin kecil nilainya, semakin bagus hasilnya.

$$SN = 10 \log_{10} (\sum_i y_i^2 / n)$$

Dimana:

yi = nilai sampel (data pengamat ke-i)

n = banyak sampel

Uji normalitas dilakukan dengan tujuan untuk menilai penyebaran data dalam suatu kelompok atau variabel, apakah data tersebut berdistribusi secara normal atau tidak. Nilai normalitas data tersebut dapat diketahui dengan persamaan uji Shapiro-Wilk sebagai berikut:

$$SW = \frac{1}{D} \left[ \sum_i^k a_i (x_{k-i+1} - x_i) \right]^2$$

$$D = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Keterangan:

SW = Shapiro-Wilk

k = Jumlah data

i = Data ke-i

ai = Data ke-I pada tabel Shapir-Wilk

xi = Data replikasi ke-i

$\bar{x}$  = Rata-rata data

Uji homogenitas bertujuan untuk menentukan apakah variasi berpopulasi serupa bahwa asumsi dasar analisis varians ANOVA adalah varians dari populasi adalah sama. Nilai homogen dapat diketahui dengan persamaan Bartlett sebagai berikut:

$$S^2 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n(n-1)}$$

$$S^2_{gabungan} = \frac{\sum db \cdot S^2}{\sum db}$$

$$B = (\sum db) (\text{Log } S^2_{gabungan})$$

Keterangan:

S<sup>2</sup> = Variansi kuadrat

n = Jumlah banyak data

i = Data ke-i

x = Nilai data

db = Derajat Kebebasan

Uji ANOVA yang dikenal sebagai uji F, uji serentak atau uji pola adalah pengujian untuk melihat bagaimana semua variabel bebas mempengaruhi variabel terikat. Dalam uji F Hitung adalah nilai F yang dihitung dengan analisis, yang kemudian akan dibandingkan dengan tabel F pada sejumlah Pembilang dan

Penyebut F Hitung didapatkan dengan persamaan berikut:

1. Menghitung Jumlah Kuadrat Total (SST)

$$SST = \sum_{i=1}^N (y_i)^2 - CF$$

$$CF = \frac{T^2}{N}$$

$$T = \sum y_i$$

Dimana:

N = Total replikasi data

yi = Data pada replikasi ke-i

CF = Correction faktor

T = Jumlah data seluruh replikasi

2. Menghitung Jumlah Kuadrat Faktor (SSj)

$$SS_j = \left( \frac{\sum A_1^2}{N_{A1}} + \dots + \frac{\sum A_t^2}{N_{At}} \right) - CF$$

Dimana:

A<sub>i</sub> = Faktor eksperimen level ke-i

N<sub>Ai</sub> = Jumlah replikasi faktor A ke-i

CF = Correction faktor

3. Menghitung Jumlah Kuadrat Error (SSe)

$$SS_e = SST - SS_A - \dots - SS_j$$

Dimana:

SST = Jumlah kuadrat total

SS<sub>i</sub> = Kuadrat faktor-i

4. Menghitung Derajat Kebebasan Faktor (DFi)

$$DF_i = (\text{Banyak level Faktor } i - 1)$$

Dimana:

DF<sub>i</sub> = Derajat kebebasan-i

5. Menghitung Derajat Kebebasan Total (DF<sub>T</sub>)

$$DF_T = (\text{Banyak Eksperimen} - 1)$$

6. Menghitung Rata-Rata Jumlah Kuadrat (MS)

$$MS_i = \frac{SS_i}{DF_i}$$

Dimana:

MS<sub>i</sub> = Kuadrat rata-rata-i

SS<sub>i</sub> = Kuadrat faktor-i

DF<sub>i</sub> = Derajat kebebasan-i

7. Menghitung Rasio (F-value)

$$F - Ratio = \frac{MS_i}{MS_e}$$

Dimana:

MS<sub>i</sub> = Kuadrat rata-rata-i

MS<sub>e</sub> = Kuadrat rata-rata error

8. Menghitung Presentase Akhir Faktor (Rho%)

$$Rho\% = \frac{SS_i}{SST}$$

Dimana:

SS<sub>i</sub> = Kuadrat faktor-i

SST = Jumlah kuadrat total

Uji konfirmasi digunakan untuk mengetahui apakah yang dipertimbangkan

variabel pemesinan memiliki kemampuan menghasilkan hasil yang lebih baik. Hasil level terbaik dari variabel proses input dapat diperkirakan dengan persamaan sebagai berikut:

1. Prediksi kondisi optimal

$$N = \eta + \sum_{i=1}^p (\eta_{opt} - \eta)$$

$$\eta = 1/n_c \sum_{i=1}^{n_c} \eta_i$$

Dimana:

p = Faktor dan level optimal yang mempengaruhi karakteristik kualitas

η = Nilai rata-rata data pada seluruh replikasi

η<sub>opt</sub> = Nilai rata-rata untuk faktor dan level optimal

n<sub>c</sub> = Total jumlah percobaan

η<sub>i</sub> = Data pada replikasi ke-i

2. Interval prediksi kondisi optimal

$$CI = \pm \sqrt{F_{\alpha,1,Dfe} \times V_{\sigma} \times \left( \frac{1}{neff} + \frac{1}{r} \right)}$$

$$neff = \frac{n}{1 + Vt}$$

Dimana:

F<sub>α,1,Dfe</sub> = Rasio-F pada tingkat signifikansi α% (data ini diambil dari tabel distribusi F0,05)

Dfe = Derajat kebebasan error

ve = Kuadrat rata-rata error

neff = Jumlah nilai efektif

r = Jumlah total tes konfirmasi

n = Jumlah total tes

Vt = Jumlah derajat kebebasan faktor yang paling berpengaruh

Penelitian ini menggunakan baja EMS 45 karena material ini memiliki ketahanan terhadap gesekan dan tekanan, kemudian alat yang digunakan yaitu: Mesin CNC Turning Type Fanuc Oi-Mate TC, Software Mastercam X4 dan Swansoft CNC Simulator, Jangka Sorong Krisbow dengan ketelitian 0,05 mm, Pahat Karbida insert Mitsubishi VNMG 160404-MA VP15TF, Mikroskop analyze infinity.

Parameter yang digunakan menyesuaikan dengan jenis material dan pahat yang digunakan yaitu: menggunakan material EMS 45 dan pahat karbida. Katalog dan parameter yang dizinkan sesuai dengan kriteria

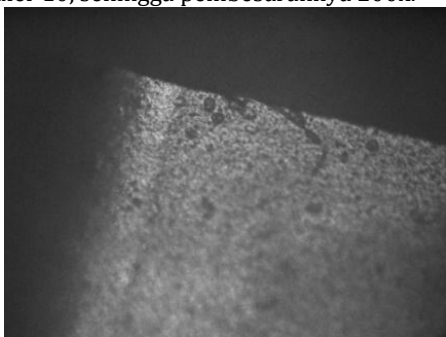
material EMS 45 dengan pahat karbida yaitu: *Depth of cut* (0.2-0.6-1.0) mm, *Feed* (0.05-0.15-0.25) mm/put, *Cutting speed* (100-200-300) mm/min. Berdasarkan spesifikasi tersebut untuk memaksimalkan putaran spindle 1000 Rpm pada mesin, maka didapatkan parameter sebagai berikut: *Cutting speed* (150, 200, 240) mm/min, *Feed* (0.1, 0.15, 0.2) mm/put, dan *Depth of cut* (0.2, 0.4, 0.6) mm. Setelah menentukan parameter dan perhitungan yang digunakan, maka pembuatan spesimen dilakukan yaitu menggunakan baja EMS 45, dan melakukan percobaan sebanyak 9x sehingga mendapatkan waktu pemesinan dari berbagai kombinasi variabel parameter. Adapun variable kontrolnya yaitu tatal benda, coolant, dan metode Taguchi.

Pemeriksaan keausan ini dilakukan untuk mengamati keausan pada pahat insert dan akan dianalisis lebih lanjut. Adapun data yang diperoleh terdapat pada perubahan sifat fisis yaitu: perubahan bentuk, dan perubahan sifat mekanis yaitu: abrasive, diffusion, attractio, fracture, dan thermal fatigue. Pada tahap ini hasil data dari proses pemesinan menghasilkan waktu pemesinan dan simulasi akan di analisis untuk mendapatkan waktu optimal, dan pemeriksaan keausan pada pahat insert untuk mengetahui kondisi pahat pada setiap percobaan dengan hasil keausan yang optimal (minimal).

**Hasil Dan Pembahasan**

**Keausan Pahat (VB) Insert Dengan Foto Mikro**

Pengukuran dengan foto mikro bertujuan untuk mengamati keausan pahat setelah dilakukan proses pemesinan pada pahat karbida. Dalam pengukuran ini menggunakan mikroskop analyze infinity 2 yang terdapat di laboratorium teknik mesin universitas negeri semarang. Adapun pengukuran tersebut menggunakan lensa objektif 20, dan lensa okuler 10, sehingga pembesarannya 200x.

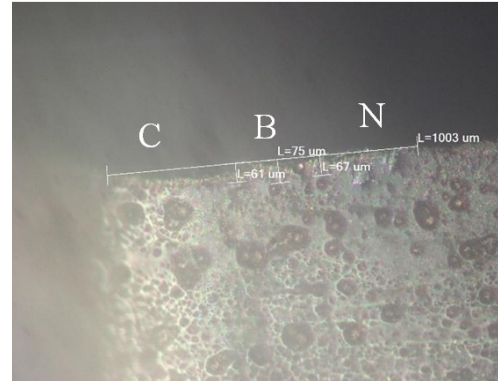


**Gambar 1.** Hasil pengukuran pahat sebelum proses pemesinan

Hasil pengukuran pahat sebelum dilakukan proses pemesinan menunjukkan

bahwa bentuk pahat dalam bentuk yang baik. Sebagaimana yang terlihat pada gambar 1. adapun hasil pengukuran setelah proses pemesinan menggunakan mikroskop dengan perbedaan variasi parameter pemesinan sebagai berikut:

- a. Pengukuran foto mikro dengan variasi *cutting speed* 150, *feed* 0,1, dan *depth of cut* 0,2



**Gambar 2.** Hasil pengukuran foto mikro pahat ke-1

Gambar 2. menunjukkan jenis keausan setelah dilakukan proses pemesinan CNC turning. Berdasarkan hasil pengukuran pahat ke-1 dari sisi samping pahat carbide menggunakan mikroskop infinity, terdapat keausan tepi ( $VB_B$ ) rata-rata dari dua titik adalah 0,064mm, ( $VB_B$  max) adalah 0,075 mm.

- b. Pengukuran foto mikro dengan variasi *cutting speed* 150, *feed* 0,15, dan *depth of cut* 0,4



**Gambar 3.** Hasil pengukuran foto mikro pahat ke-2

Gambar 7. menunjukkan keausan setelah dilakukan proses pemesinan CNC turning. Berdasarkan hasil pengukuran pahat ke-2 dari sisi samping pahat carbide menggunakan mikroskop infinity, terdapat keausan tepi ( $VB_B$ ) rata-rata dari dua titik adalah 0,0845 mm, ( $VB_B$  max) adalah 0,097 mm.



- c. Pengukuran foto mikro dengan variasi *cutting speed* 150, *feed* 0,2, dan *depth of cut* 0,6



**Gambar 4.** Hasil pengukuran pahat ke-3 Gambar 4. menunjukkan keausan setelah dilakukan proses pemesinan CNC turning. Berdasarkan hasil pengukuran pahat ke-3 dari sisi samping pahat carbide menggunakan mikroskop infinity, terdapat keausan tepi (*VBB*) rata-rata dari dua titik adalah 0,0975 mm, (*VBB max*) adalah 0,120 mm.

- d. Pengukuran foto mikro dengan variasi *cutting speed* 200, *feed* 0,1, dan *depth of cut* 0,4

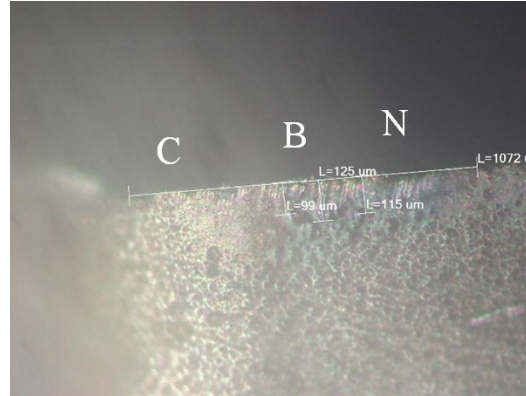


**Gambar 5.** Hasil pengukuran pahat ke-4 Gambar 5. menunjukkan keausan setelah dilakukan proses pemesinan CNC turning. Berdasarkan hasil pengukuran pahat ke-4 dari sisi samping pahat carbide menggunakan mikroskop infinity, terdapat keausan tepi (*VBB*) rata-rata dari dua titik adalah 0,098 mm, (*VBB max*) adalah 0,123 mm.

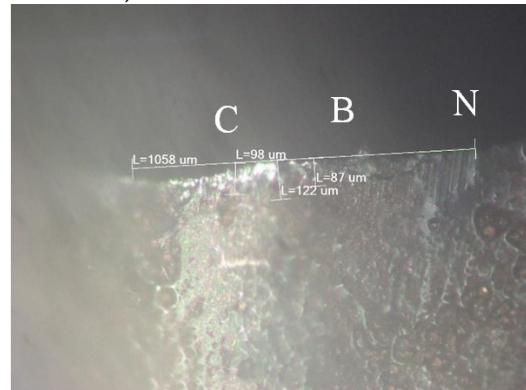
- e. Pengukuran foto mikro dengan variasi *cutting speed* 200, *feed* 0,15, dan *depth of cut* 0,6

Gambar 6. menunjukkan keausan setelah dilakukan proses pemesinan CNC turning. Berdasarkan hasil pengukuran pahat ke-5 dari sisi samping pahat carbide menggunakan mikroskop infinity, terdapat keausan tepi (*VBB*) rata-rata dari

dua titik adalah 0,107 mm, (*VBB max*) adalah 0,125 mm.



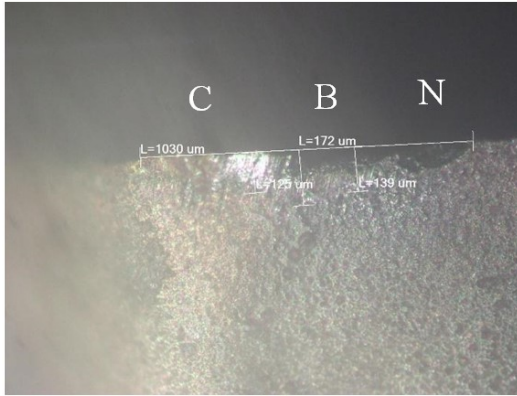
**Gambar 6.** Hasil pengukuran pahat ke-5 f. Pengukuran foto mikro dengan variasi *cutting speed* 200, *feed* 0,2, dan *depth of cut* 0,2



**Gambar 7.** Hasil pengukuran pahat ke-6 Gambar 7. menunjukkan keausan setelah dilakukan proses pemesinan CNC turning. Berdasarkan hasil pengukuran pahat ke-6 dari sisi samping pahat carbide menggunakan mikroskop infinity, terdapat keausan tepi (*VBB*) rata-rata dari dua titik adalah 0,0925 mm, (*VBB max*) adalah 0,122 mm.

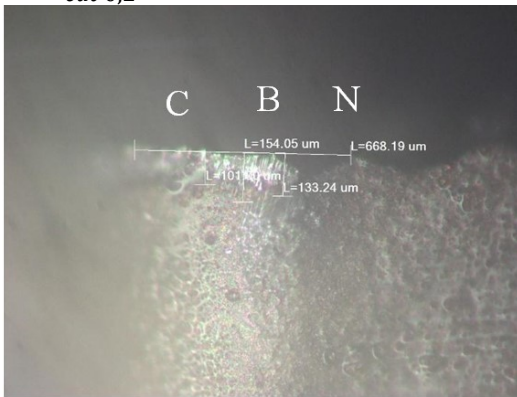
- g. Pengukuran foto mikro dengan variasi *cutting speed* 240, *feed* 0,1, dan *depth of cut* 0,6

Gambar 8. menunjukkan keausan setelah dilakukan proses pemesinan CNC turning. Berdasarkan hasil pengukuran pahat ke-7 dari sisi samping pahat carbide menggunakan mikroskop infinity, terdapat keausan tepi (*VBB*) rata-rata dari dua titik adalah 0,132 mm, (*VBB max*) adalah 0,172 mm.



**Gambar 8.** Hasil pengukuran pahat ke-7

- h. Pengukuran foto mikro dengan variasi *cutting speed* 240, *feed* 0,15, dan *depth of cut* 0,2

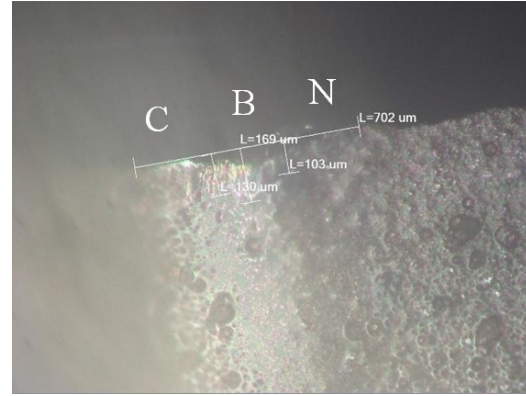


**Gambar 9.** Hasil pengukuran pahat ke-8

Gambar 9. menunjukkan keausan setelah dilakukan proses pemesinan CNC turning. Berdasarkan hasil pengukuran pahat ke-8 dari sisi samping pahat carbide menggunakan mikroskop infinity, terdapat keausan tepi (*VBB*) rata-rata dari dua titik adalah 0,117 mm, (*VBB max*) adalah 0,154 mm.

- i. Pengukuran foto mikro dengan variasi *cutting speed* 240, *feed* 0,2, dan *depth of cut* 0,4

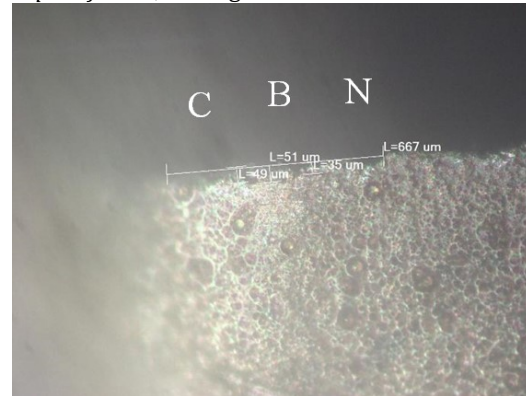
Gambar 10. menunjukkan keausan setelah dilakukan proses pemesinan CNC turning. Berdasarkan hasil pengukuran pahat ke-9 dari sisi samping pahat carbide menggunakan mikroskop infinity, terdapat keausan tepi (*VBB*) rata-rata dari dua titik adalah 0,1165 mm, (*VBB max*) adalah 0,169 mm.



**Gambar 10.** Hasil pengukuran pahat ke-9

**Keausan Tepi Pahat Perlakuan Kontrol**

Pengukuran foto mikro dari perlakuan kontrol dengan variasi *cutting speed* 140, *feed* 0,15, dan *depth of cut* 0,4 sebagai berikut:

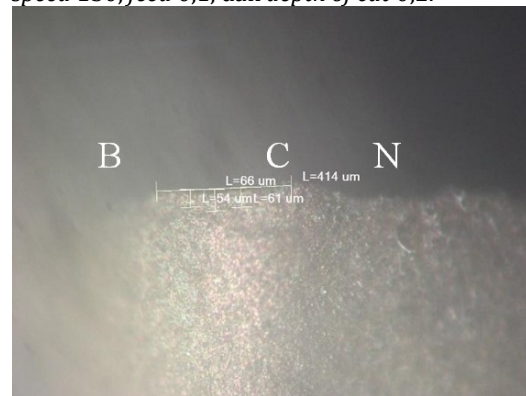


**Gambar 11.** Hasil pengukuran perlakuan kontrol

Gambar 11. menunjukkan keausan setelah dilakukan proses pemesinan CNC turning. Berdasarkan hasil pengukuran pahat dari sisi samping pahat carbide menggunakan mikroskop infinity, terdapat keausan tepi (*VBB*) rata-rata dari dua titik adalah 0,042 mm, (*VBB max*) adalah 0,051 mm.

**Pengukuran Keausan Tepi Pahat Eksperimen Konfirmasi**

Pengukuran foto mikro dengan variasi *cutting speed* 150, *feed* 0,1, dan *depth of cut* 0,2.



**Gambar 12.** Hasil pengukuran eksperimen konfirmasi

Gambar 12. menunjukkan keausan setelah dilakukan proses pemesinan CNC turning. Berdasarkan hasil pengukuran pahat dari sisi samping pahat carbide menggunakan mikroskop infinity, terdapat keausan tepi (VBB) rata-rata dari dua titik adalah 0,0575 mm, (VBB max) adalah 0,066 mm.

**Tabel 2.** Data hasil pengukuran keausan tepi pahat

| No Eks. | Keausan Pahat |        |     |       |       |           | VBB max mm |
|---------|---------------|--------|-----|-------|-------|-----------|------------|
|         | Parameter     |        |     | VBB   |       |           |            |
|         | A             | B      | C   | 1     | 2     | Rata-rata |            |
|         | CS            | F      | DoC | mm    | mm    | mm        |            |
|         | mm/min        | mm/put | mm  | mm    | mm    | mm        |            |
| 1       | 150           | 0,1    | 0,2 | 0,061 | 0,067 | 0,064     | 0,075      |
| 2       | 150           | 0,15   | 0,4 | 0,082 | 0,087 | 0,085     | 0,097      |
| 3       | 150           | 0,2    | 0,6 | 0,083 | 0,112 | 0,098     | 0,120      |
| 4       | 200           | 0,1    | 0,4 | 0,093 | 0,103 | 0,098     | 0,123      |
| 5       | 200           | 0,15   | 0,6 | 0,099 | 0,115 | 0,107     | 0,125      |
| 6       | 200           | 0,2    | 0,2 | 0,087 | 0,098 | 0,093     | 0,122      |
| 7       | 240           | 0,1    | 0,6 | 0,125 | 0,139 | 0,132     | 0,172      |
| 8       | 240           | 0,15   | 0,2 | 0,101 | 0,133 | 0,117     | 0,154      |
| 9       | 240           | 0,2    | 0,4 | 0,103 | 0,130 | 0,117     | 0,169      |

**Tabel 3.** Mekanisme keausan pahat insert

| No Eks. | Mekanisme Keausan Pahat |          |      |                     |                                 |
|---------|-------------------------|----------|------|---------------------|---------------------------------|
|         | Parameter               |          |      | Keausan Pahat       | Luas Keausan (mm <sup>2</sup> ) |
|         | A                       | B        | C    |                     |                                 |
|         | CS                      | F        | DoC  |                     |                                 |
|         | (mm/min)                | (mm/put) | (mm) |                     |                                 |
| 1       | 150                     | 0,1      | 0,2  | Flank Wear, Abrasif | 49,4                            |
| 2       | 150                     | 0,15     | 0,4  | Flank Wear, Abrasif | 44,84                           |
| 3       | 150                     | 0,2      | 0,6  | Flank Wear, Abasif  | 45,73                           |
| 4       | 200                     | 0,1      | 0,4  | Flank Wear, Abrasif | 98,19                           |
| 5       | 200                     | 0,15     | 0,6  | Flank Wear, Abrasif | 101,57                          |
| 6       | 200                     | 0,2      | 0,2  | Flank Wear, Abrasif | 91,54                           |
| 7       | 240                     | 0,1      | 0,6  | Flank Wear, Abrasif | 107,68                          |
| 8       | 240                     | 0,15     | 0,2  | Flank Wear, Abrasif | 99,30                           |
| 9       | 240                     | 0,2      | 0,4  | Flank Wear, Abrasif | 106,97                          |
| EK      | 140                     | 0,15     | 0,4  | Flank Wear, Abrasif | 33,929                          |
|         | 150                     | 0,1      | 0,2  | Flank Wear, Abrasif | 24,475                          |

Ket: EK adalah perlakuan Kontrol Eksperimen Konfirmasi

Pada tabel 3. Terdapat beberapa jenis keausan dengan luasan yang terjadi seperti terlihat pada gambar diatas. Adapun keausan yang dominan yaitu *flank wear*, dan abrasif karena berupa gesekan antara bidang geram dan bidang utama pahat.

**Analisis Perhitungan ANOVA Keausan Tepi Pahat (VB) Insert**

ANOVA digunakan untuk menguji pengaruh variasi dari faktor yang digunakan dari sampel uji terhadap waktu pemesinan, berikut hasil perhitungan ANOVA pada aplikasi Minitab 18.

**Uji Normalitas**

Berdasarkan hasil uji normalitas Shapiro-Wilk diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,100, adapun syarat data terdistribusi normal adalah apabila nilai

signifikansi lebih besar daripada 0,05 (sig>0,05). Pada tabel diatas nilai sig lebih besar dari 0,05 yang artinya data tersebut terdistribusi normal.

**Tabel 4.** Hasil uji normalitas keausan tepi pahat (VB) insert

| Method       | Mean   | St Dev | N | SW    | P-Val. |
|--------------|--------|--------|---|-------|--------|
| Shapiro-Wilk | 0,1286 | 0,032  | 9 | 0,969 | 0,100  |

**Uji Homogenitas**

**Tabel 5.** Hasil uji homogen keausan tepi pahat (VB) insert

| Method   | Test Statistic | P-Value |
|----------|----------------|---------|
| Bartlett | 12,52          | 0,129   |

Uji homogenitas yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel dengan nilai sig yang dihasilkan sebesar 0,129. Syarat agar data homogen adalah apabila nilai signifikansi lebih besar daripada 0,05 (sig>0,05). Pada tabel diatas nilai sig lebih besar dari 0,05 yang artinya data tersebut homogen.

**Uji ANOVA**

**Tabel 6.** Analisis of varians (ANOVA) keausan tepi pahat (VB) insert

| Sou rce | D F | Seq SS              | Contr i (%) | Adj SS             | F-Val | P-Val |
|---------|-----|---------------------|-------------|--------------------|-------|-------|
| CS      | 2   | 7 E <sup>-3</sup>   | 85,1        | 7 E <sup>-3</sup>  | 48,3  | 0,02  |
| F       | 2   | 3,2 E <sup>-4</sup> | 4           | 3,2E <sup>-4</sup> | 2,26  | 0,31  |
| DoC     | 2   | 7,3 E <sup>-4</sup> | 8,9         | 7,3E <sup>-4</sup> | 5,05  | 0,16  |
| E       | 2   | 1,4 E <sup>-4</sup> | 1,8         | 1,4E <sup>-4</sup> |       |       |
| Σ       | 8   | 8,1 E <sup>-3</sup> | 100         |                    |       |       |

Pengolahan data pada tabel 5. berdasarkan hasil yang dilakukan menggunakan minitab 18, dalam kolom terakhir terdapat huruf P merupakan simbol dari nilai probabilitas (P value) yang berarti peluang munculnya suatu kejadian. Disebut taraf signifikansi apabila besarnya peluang melakukan kesalahan artinya meyakinkan atau berarti. Adapun tingkat signifikansi 5% atau 0.050 dapat diartikan sebagai resiko kesalahan dalam mengambil keputusan apabila menolak hipotesis sebanyak mungkin 5% dan saat mengambil keputusan minimal 95%.

Nilai P dalam penelitian ini yaitu *cutting speed* 0.020, *feed* 0.307, dan *depth of cut* 0.165. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa parameter *cutting speed* menghasilkan nilai P < 0.050, sehingga parameter *cutting speed* tersebut merupakan faktor yang signifikan yang berpengaruh terhadap



keausan pahat. berdasarkan nilai  $P_{feed}$  sebesar 0,307 dan  $depth\ of\ cut$  0.165 maka  $feed$  dan  $depth\ of\ cut$  tidak memberikan pengaruh yang signifikan.

2.4 Analisis Respon Rata-Rata Keausan Pahat (VB) dan Signal to Noise Ratio

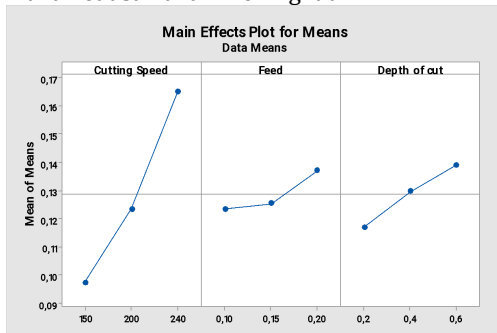
Nilai respon rata-rata waktu pemesinan dan signal to noise ratio digunakan untuk menentukan nilai optimasi dan mengetahui level faktor yang mempengaruhi nilai waktu pemesinan. berikut hasil respon rata-rata pada aplikasi Minitab 18.

**Tabel 7.** Respon rata-rata keausan tepi pahat (VB) insert

| Level | CS      | F       | DoC     |
|-------|---------|---------|---------|
| 1     | 0,09733 | 0,12333 | 0,11700 |
| 2     | 0,12333 | 0,12533 | 0,12967 |
| 3     | 0,16500 | 0,13700 | 0,13900 |
| Delta | 0,06767 | 0,01367 | 0,02200 |
| Rank  | 1       | 3       | 2       |

Pada Tabel 6. menunjukkan hasil respon nilai keausan pahat (VB) insert rata-rata dari tiap level faktor. Pada faktor  $cutting\ speed$  nilai rata-rata tertinggi berada di level 3 (240 m/menit) sebesar 0,16500 mm dan nilai terendah terdapat pada level 1 (150 m/menit) sebesar 0,09733 mm. kemudian pada faktor  $feed$  nilai tertinggi berada di level 3 (0,2 mm/rev) sebesar 0,13700 mm dan nilai terendah pada level 1 (0,1 mm/rev) sebesar 0,12333 mm. Pada faktor  $depth\ of\ cut$  nilai tertinggi di level 3 (0,6 mm) sebesar 0,13900 mm dan nilai terendah pada level 1 (0,2 mm) sebesar 0,11700 mm.

Data Tabel 6. yang diperoleh diubah dalam bentuk grafik dan dijelaskan sebagai berikut. Dapat dikatakan bahwa apabila  $cutting\ speed$ ,  $feed$  dan  $depth\ of\ cut$  yang tinggi maka keausan akan meningkat.



**Gambar 13.** Grafik rata-rata keausan pahat (VB) insert

Hasil respon rata-rata keausan pahat (VB) insert digunakan untuk menentukan tingkat setting parameter optimal dari setiap level faktor. Pemilihan level optimal berdasarkan pada karakteristik mutu yang dipakai. pada penelitian ini menggunakan

karakteristik smaller the better dimana semakin kecil nilainya maka semakin baik (Budiman, 2007). Berdasarkan Gambar 4.1 nilai setting level faktor optimal terdapat pada  $cutting\ speed$  level 1 (150 m/menit),  $feed$  level 1 (0,1 mm/rev) dan  $depth\ of\ cut$  level 1 (0,2 mm).

**Tabel 8.** Hasil faktor dan level keausan pahat (VB) insert optimal

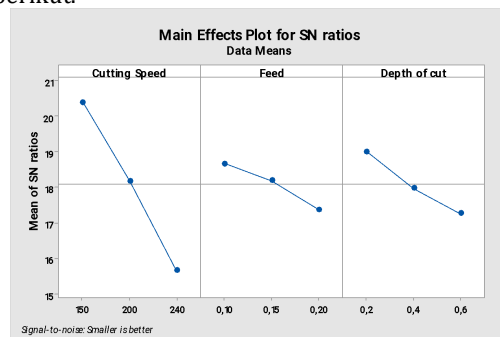
| Faktor           | Level   | Nilai level |
|------------------|---------|-------------|
| $cutting\ speed$ | Level 1 | 150         |
| $Feed$           | Level 1 | 0,1         |
| $Depth\ of\ cut$ | Level 1 | 0,2         |

**Tabel 9.** Respon  $signal\ to\ noise\ ratio$  keausan pahat (VB) insert

| Level | CS    | F     | DoC   |
|-------|-------|-------|-------|
| 1     | 20,39 | 18,66 | 19,01 |
| 2     | 18,18 | 18,19 | 17,97 |
| 3     | 15,66 | 17,38 | 17,26 |
| Delta | 4,73  | 1,29  | 1,75  |
| Rank  | 1     | 3     | 2     |

Tabel 9. menunjukkan respon rata-rata  $signal\ to\ noise\ ratio$  rata-rata dari tiap level faktor. Pada faktor  $cutting\ speed$  nilai rata-rata tertinggi pada level 1 (150 m/menit) sebesar 20,39 dan terendah berada di level 3 (240 m/menit) sebesar 15,66. Pada faktor  $feed$  nilai tertinggi berada di level 1 (0,1 mm/rev) sebesar 18,66 dan nilai terendah terdapat pada level 3 (0,2 mm/rev) sebesar 17,38. Faktor  $depth\ of\ cut\ feed$  nilai tertinggi berada di level 1 (0,2 mm) sebesar 19,01 dan nilai terendah terdapat pada level 1 (0,2 mm) sebesar 17,26.

Data Tabel 8. yang diperoleh diubah dalam bentuk grafik dan dijelaskan sebagai berikut.



**Gambar 14.** Grafik  $signal\ to\ noise$  keausan pahat (VB) insert

Pada respon nilai rata-rata  $signal\ to\ noise\ ratio$  digunakan untuk mencari level faktor yang mempengaruhi kualitas keausan pahat (VB) insert, pemilihan faktor berdasarkan karakteristik kualitas yang digunakan pada  $signal\ to\ noise$  yaitu large the



better, yang berarti bahwa semakin besar nilainya maka akan semakin baik. Pada penelitian ini menggunakan karakteristik signal to noise ratio smaller the better, tetapi signal to noise ratio ditransformasikan pada orientasi karakteristik kualitas larger the better. Level faktor yang memiliki pengaruh besar terhadap kualitas keausan pahat (VB) insert pada penelitian ini adalah faktor *cutting speed* level 1 (150 m/min) sebesar 20,39, disusul faktor *depth of cut* level 1 (0,2 mm) sebesar 19,01, dan faktor *feed* level 1 (0,1 mm/rev) sebesar 18,66.

**Perlakuan Kontrol**

Perlakuan kontrol diambil berdasarkan parameter pahat karbida yang diizinkan dimana baja karbon menengah parameternya yaitu *cutting speed* 140-145 mm/min, *feed* 0,13-0,38 mm/put, dan *depth of cut* 0,38-2,29 mm.

**Tabel 10.** Hasil pengukuran keausan tepi pahat perlakuan kontrol)

| Parameter          |                   |                 | Keausan Pahat VBB |           |                       |      | VBB |
|--------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------|-----------------------|------|-----|
| A                  | B                 | C               | Rata-rata         |           | max                   |      |     |
| CS<br>(mm/<br>min) | F<br>(mm/p<br>ut) | DoC<br>(m<br>m) | 1<br>(mm)         | 2<br>(mm) | Rata-<br>rata<br>(mm) | (mm) |     |
| 140                | 0,15              | 0,4             | 0,035             | 0,049     | 0,042                 | 0,05 |     |

Berdasarkan hasil pengukuran pahat dari sisi samping pahat carbide menggunakan mikroskop infinity, terdapat keausan tepi (VBB) rata-rata dari dua titik adalah 0,042 mm, (VBB max) adalah 0,051 mm. jika dibandingkan dengan percobaan kedua maka pengukuran keausan perlakuan kontrol menghasilkan nilai keausan yang lebih kecil.

**Eksperimen Konfirmasi Keausan Tepi Pahat (VB) Insert**

Eksperimen konfirmasi bertujuan untuk membuktikan prediksi kondisi parameter yang optimal yang didapatkan dari pengolahan data keausan pahat. Eksperimen konfirmasi tersebut dilakukan menggunakan kombinasi dari faktor-faktor dan level-level yang optimal. Prediksi ini dilakukan dengan cara menghitung nilai prediksi keausan tepi pahat (VB) insert menggunakan persamaan 2.22-2.25. Apabila nilai eksperimen konfirmasi dan hasil nilai prediksi hampir sama atau mendekati, maka desain eksperimen Taguchi berhasil. Berikut hasil prediksi nilai waktu pemesinan pada kondisi setting parameter optimal.

**Tabel 11.** Prediksi nilai dan interval keausan tepi pahat (VB) insert

| Prediksi | Interval |
|----------|----------|
| 0,147    | ± 0,604  |

Berdasarkan nilai prediksi keausan pahat pada kondisi optimal sebesar 0,147 dengan interval ± 0,604.

**Tabel 12.** Hasil pengukuran keausan tepi pahat (VB) insert

| Parameter          |                   |                 | Keausan Pahat VB <sub>B</sub> |           | VBB                   |
|--------------------|-------------------|-----------------|-------------------------------|-----------|-----------------------|
| A                  | B                 | C               | Rata-rata                     |           | max                   |
| CS<br>(mm/<br>min) | F<br>(mm/<br>put) | DoC<br>(m<br>m) | 1<br>(mm)                     | 2<br>(mm) | Rata-<br>rata<br>(mm) |
| 150                | 0,1               | 0,2             | 0,054                         | 0,061     | 0,0575                |

Berdasarkan hasil eksperimen konfirmasi dengan parameter *cutting speed* 150 mm/min, *feed* 0,1 mm/put, dan *depth of cut* 0,2 mm menghasilkan nilai keausan pahat yang lebih kecil dari nilai prediksi 0,147 mm yaitu 0,066 mm.

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui keausan pahat proses finishing CNC turning pada material EMS 45 menggunakan metode Taguchi. Pada penelitian tersebut dilakukan di laboratorium teknik mesin UNNES dan mendapatkan data-data yang dibutuhkan dan kesesuaiannya terhadap tujuan penelitian, dan pembahasan hasil penelitian, maka dapat dijelaskan bahwa pengukuran melalui foto mikro menggunakan mikroskop analyze infinity dapat membuktikan bahwa terjadi perbedaan keausan yang terdapat pada pahat insert karbida. Sebagaimana dijelaskan pada tabel 4 dan 5 nilai keausan mengalami peningkatan dalam setiap percobaan. Sebagaimana pendapat Rochim (1993) bahwa apabila semakin besar kecepatan potong maka kualitas pahat akan menurun. Pengukuran nilai keausan pada penelitian ini dijelaskan pada tabel 4. Adapun nilai terendah terdapat pada percobaan ke-1 dengan parameter *cutting speed* 150 mm/min, *feed* 0,1 mm/put, dan *depth of cut* 0,2 mm. Maka terdapat keausan tepi (VBB) rata-rata dari dua titik adalah 0,048 mm, (VBB max) adalah 0,085 mm, dan luas keausan sebesar 49,397 mm<sup>2</sup>. Adapun nilai keausan tertinggi terdapat pada percobaan ke-7 dengan parameter *cutting speed* 240 mm/min, *feed* 0,1 mm/put, dan *depth of cut* 0,6 mm. Maka terdapat keausan tepi (VBB) rata-rata dari dua titik adalah 0,132 mm, (VBB max) adalah 0,172 mm, dan luas keausan sebesar 107,679 mm<sup>2</sup>.

Berdasarkan hasil perolehan pengukuran keausan pahat melalui foto mikro bahwa *cutting speed*, dan *depth of cut* yang tinggi maka akan menghasilkan nilai keausan yang tinggi. Adapun pada gambar diagram 7 dan 8 urutan yang menghasilkan nilai keausan optimal (minimal) yaitu pertama *cutting speed*, kedua *depth of cut*, ketiga *feed*. Parameter

yang menghasilkan nilai keausan optimal (minimal) yaitu parameter *cutting speed* 150 mm/min, *feed* 0,1 mm/put, dan *depth of cut* 0,2 mm. Adapun dengan hasil pengukuran keausan yang dilakukan apabila *cutting speed*, *feed*, dan *depth of cut* semakin tinggi Sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya bahwa kecepatan potong memiliki pengaruh terbesar terhadap keausan pahat (Tuan et al.,2020).

Hasil pengamatan dan pengukuran keausan pahat (*VB*) insert dapat disimpulkan bahwa beberapa jenis keausan yang dominan terjadi pada penelitian ini yaitu mekanisme penyebab keausan yaitu keausan tepi (*flank wear*) dan abrasif karena akibat gesekan antara bidang geram dan bidang utama pahat terjadi goresan.



**Gambar 15.** Mekanisme keausan pahat (*VB*) insert Berdasarkan standar ISO 3685:1993 bahwa standar keausan pahat rata-rata (*VBB*) yang diizinkan adalah sebesar 0,3 mm (Rochim, 1993). Hasil penelitian dengan seluruh parameter yang dilakukan yaitu (*VBB*) rata-rata terkecil yaitu 0,064 dan terbesar 0,132 mm. Adapun hasil perlakuan kontrol yang dilakaukan (*VBB*) rata-rata yaitu 0,0455 mm, dan eksperimen konfirmasi (*VBB*) rata-rata 0,0575 mm. Maka dalam penelitian ini jika mengacu pada standarisasi tersebut dapat disimpulkan bahwa keausan tepi (*Flank Wear*) masih dalam batas yang diizinkan, sehingga pahat insert masih bisa digunakan.

## SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang keausan pahat proses finishing CNC turning pada material EMS 45 menggunakan metode Taguchi dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat pengaruh *cutting speed*, *feed*, dan *depth of cut* terhadap tingkat keausan pahat proses CNC turning. Adapun urutan yang dapat mempengaruhi keausan pahat adalah *cutting speed* urutan 1, *depth of cut* urutan 2, dan *feed* urutan 3.

2. Terdapat parameter *cutting speed*, *feed*, dan *depth of cut* yang menghasilkan keausan paling optimal (minimal) proses CNC turning. Adapun parameter yang menghasilkan keausan optimal yaitu *cutting speed* 150 mm/min, *feed* 0,1 mm/put, dan *depth of cut* 0,2 mm. Adapun mekanisme keausan yang dominan terjadi yaitu keausan tepi (*flank wear*) dan abrasif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z. (2010). Mekanisme Keausan Pahat Pada Proses Pemesinan: Sebuah Tinjauan Pustaka. *Jurnal Momentum UNWAHAS*, 6(1), 114-105.
- Angga Suhendi, Yoto, M. (2019). Pengaruh Kecepatan Spindle, Kedalaman Penyayatan, dan Variasi Campuran Cairan Pendingin Terhadap Keausan Pahat Insert Karbida pada Proses Pembubutan. *Jurnal Teknik Mesin Dan Pembelajaran*, 2(2), 134. <https://doi.org/10.17977/um054v2i2p134-140>
- Anggraini, D., Dewi, S. K., & Saputro, T. E. (2015). Aplikasi Metode Taguchi Untuk Menurunkan Tingkat Kecacatan Pada Produk Paving. *Jurnal Teknik Industri*, 16(1), 1-9.
- Arum Soesanti, Bobby O.P Soepangkat, B. P. (2012). Optimasi Parameter Pemesinao untuk Kekasaran Permukaan dan Umur Pahat pada Proses Bubut dengan Menggunakan Metode Grey-Fuzzy pada Material SKD 11'. *Jurnal Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI (SNTIM XI) & Thermofluid IV*, 01(01), 1271-1276.
- Bagchi, T. P. (1993). T Aguchi M Ethod Applied To the C Rystallization P Rocesses.
- Bayuseno, A. P. (2010). KAJIAN PUSTAKA TENTANG KEAUSAN PADA PAHAT BUBUT. 12(April), 38-41.
- Budiman, H. (2007). Analisis Umur dan Keausan Pahat Karbida untuk Membubut Baja Paduan (ASSAB 760) dengan Metoda Variable Speed Machining Test. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(1), 31-39. <https://doi.org/10.9744/jtm.9.1.pp.31-39>
- Gupta, A., Singh, H., & Aggarwal, A. (2011). Taguchi-fuzzy multi output optimization (MOO) in highspeed CNC turning of AISI P-20 tool steel. *Expert Systems with Applications*, 38(6), 6822-6828. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.12.057>

- Gurel, S., & Akturk, M. S. (gurelakturk). Considering manufacturing cost and scheduling performance on a CNC turning machine. *European Journal of Operational Research*, 177(1), 325–343.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.11.029>
- Lubis, S., Darmawan, S., & Tanuwijaya, T. (2016). Analisa pertumbuhan keausan pahat karbida coated dan uncoated pada alloy steel AISI 4340. *Energi Dan Manufaktur*, 9(2), 114–118.
- Nayse, S. R. (2017). Productivity Improvement by Cycle Time Reduction in CNC Machining. 01(04), 32–37.
- Rochim, T., 1993. *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*. Bandung. Institut Teknologi Bandung.
- Tuan, N. M., Tuan, N. Q., & Long, T. T. (2020). Effects of cutting parameters on flank wear in hard turning of sintered tungsten carbide using CBN tools. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 44(1), 41–49.