

## Pengaruh sudut penyayatan *endmill cutter* dan arah pemakanan terhadap keausan *endmill cutter* pada pengefraisan baja st 40

Andi Fepri Ribowo<sup>1</sup>, Sunyoto<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Prodi Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang  
andifepri100@gmail.com<sup>1</sup>, sunyoto@mail.unnes.ac.id<sup>2</sup>

**Abstrak** : Penggunaan parameter pemotongan yang tidak tepat dalam pengefraisan akan menurunkan kualitas benda kerja, dan mengurangi usia pakai alat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter pemotongan, yaitu sudut penyayatan *endmill cutter* dan arah pemakanan terhadap keausan *endmill cutter* pada pengefraisan baja ST 40. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Penelitian dilakukan dengan membuat spesimen benda kerja, kemudian dilakukan proses pengefraisan dengan perlakuan variasi sudut penyayatan *endmill cutter* dan arah pemakanan. Data yang diperoleh kemudian dianalisis dengan analisis deskriptif, dan diamati pengaruhnya terhadap keausan *endmill cutter*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keausan *endmill cutter* terkecil terjadi pada sudut penyayatan 7° dengan arah pemakanan berlawanan, yaitu dengan rata-rata keausan yang terjadi adalah keausan tepi (VB) dengan lebar keausan tepi 0,21 mm, dan massa aus 0,0097 g. Keausan *endmill cutter* terbesar terjadi pada sudut penyayatan 9° dengan arah pemakanan searah, yaitu dengan rata-rata keausan yang terjadi adalah *catastrophic failure*, dengan massa aus 0,0902 g.

**Kata kunci**: arah pemakanan, *endmill cutter*, keausan *endmill cutter*, sudut penyayatan.

### Pendahuluan

Mesin *milling* atau mesin frais merupakan salah satu jenis mesin perkakas yang sangat dibutuhkan dalam industri pemesinan. Mesin frais paling mampu melakukan banyak pekerjaan dari segala jenis mesin perkakas (Ansyori, 2015: 28). Permukaan yang disayat bisa berbentuk datar, menyudut, melengkung, atau bisa juga kombinasi dari beberapa bentuk (Widarto, dkk., 2008: 195).

Hasil pengefraisan dipengaruhi oleh penggunaan parameter pemotongan, diantaranya adalah cutter yang digunakan dan kondisi pemotongan (pendingin, kecepatan potong, kedalaman potong, gerak atau arah pemakanan), sehingga dalam proses pengefraisan harus menggunakan parameter pemotongan yang tepat. Selain fokus pada hasil,

dalam pengefraisan juga harus memperhatikan penggunaan alat yang tepat, sehingga umur pakainya optimal.

Salah satu komponen yang sangat penting dalam proses pengefraisan adalah cutter/pahat, sehingga cutter harus dijaga ketajaman dan kekuatannya selama proses pengefraisan berlangsung. Cutter mengalami gesekan langsung dengan benda kerja sehingga menimbulkan panas, yang akan menyebabkan temperatur pahat terutama bidang aktif pahat akan sangat tinggi. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya keausan pahat, dan jika keausan terjadi secara terus menerus, maka akan memperbesar gaya pemotongan yang akan menurunkan umur pahat dan kualitas produk.

Jenis cutter pada mesin frais

yang umum digunakan adalah endmill (endmill cutter), karena memiliki kegunaan yang cukup luas. Agar didapatkan kekuatan dan ketajaman dari endmill cutter, maka bahan pembuatan (material) dan geometri endmill cutter harus tepat. Endmill cutter HSS (High Speed Steel) banyak digunakan, karena mampu bekerja pada temperatur tinggi pada laju pemotongan yang tinggi (Nugroho, 2012: 22).

Sumbodo (2008: 294) menyebutkan bahwa salah satu faktor yang menentukan baik buruknya kualitas hasil pengerjaan proses frais adalah bentuk atau geometri permukaan dari cutter. Vobroucek (2015: 1560) menyebutkan bahwa geometri endmill cutter yang tidak tepat saat proses pengefraisan akan menyebabkan endmill cutter bergetar sehingga akan berpengaruh terhadap hasil pengefraisan, khususnya terhadap kekasaran permukaan. Jika geometrinya tidak sesuai, maka akan menyebabkan gaya pemotongan menjadi lebih besar. Sehingga endmill akan bekerja lebih berat.

Zainuddin, dkk. (2013: 12) menyatakan adanya hubungan antara geometri endmill cutter, khususnya sudut penyayat endmill cutter terhadap kekasaran permukaan benda kerja dan keausan endmill cutter. Sudut penyayat endmill yang terlalu kecil akan menyebabkan endmill tidak tajam tetapi mempunyai kekuatan, sedangkan sudut penyayat yang terlalu besar akan menyebabkan endmill mudah mengalami keausan, tetapi mempunyai ketajaman.

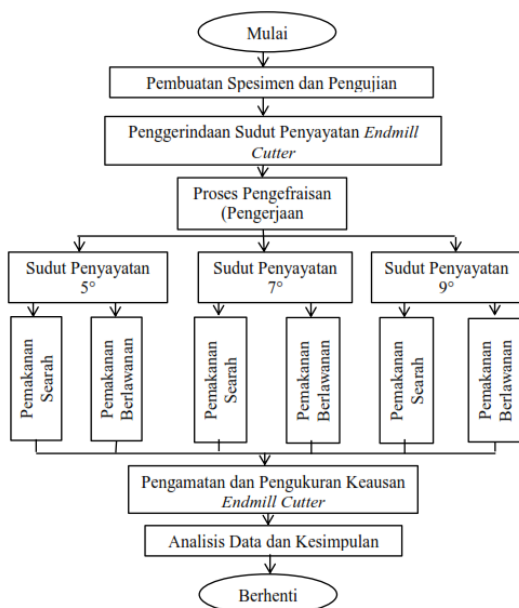
Arah pemakanan juga akan mempengaruhi kontak antara endmill dengan benda kerja. Namun, pada kenyataannya di lapangan, penentuan arah pemakanan sering diabaikan, sehingga kemampuan penyayat endmill terhadap benda kerja menjadi tidak maksimal, dan dapat menurunkan performa endmill, sehingga umur pakainya (tool life) menjadi lebih pendek.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh beberapa

parameter pemotongan pada proses pengefraisan terhadap keausan endmill cutter, yang berfokus pada variasi sudut penyayat endmill cutter dan variasi arah pemakanan pada pengefraisan baja ST 40.

## Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan desain eksperimen faktorial. Terdapat dua variabel bebas, yaitu sudut penyayat endmill cutter (dengan variasi 5°, 7°, dan 9°), dan arah pemakanan (dengan variasi pemakanan searah dan berlawanan). Variabel terikat dalam penelitian ini adalah keausan endmill cutter. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin gergaji potong, timbangan digital, termometer inframerah, tachometer digital, kamera foto makro, mesin uji kekerasan vickers, dan mesin frais vertikal. Bahan penelitian yang digunakan adalah baja ST 40 dan endmill cutter HSS. Data dikumpulkan dengan menggunakan teknik observasi atau mengamati objek penelitian secara langsung. Data yang telah diperoleh dari hasil pengujian selanjutnya dianalisis untuk menjadi informasi agar karakteristik data mudah dipahami. Data berupa gambar hasil pengamatan tipe keausan pahat yang terjadi, selanjutnya dianalisis untuk disimpulkan kedalam tipe keausan sesuai kriteria. Data berupa angka hasil pengukuran, dianalisis dengan analisis statistik deskriptif, kemudian dianalisis pengaruhnya terhadap kondisi variabel penelitian. Data disajikan dalam bentuk visual (tabel dan grafik) agar mudah diamati. Berikut ini merupakan diagram alir proses pelaksanaan penelitian:



**HASIL PENELITIAN**

**A. Hasil Uji Kekerasan Spesimen**

Abidin (2010: 9) menyebutkan bahwa keausan cutter disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah material yang diproses. Semakin keras benda kerja yang difrais, maka pertumbuhan keausan endmill cutter semakin besar. Oleh sebab itu, nilai kekerasan benda kerja perlu diketahui. Pengujian kekerasan spesimen dilakukan dengan menggunakan mesin uji kekerasan Vickers.

Beban Pengujian : 300 gf  
 Waktu Pembebanan : 10 detik

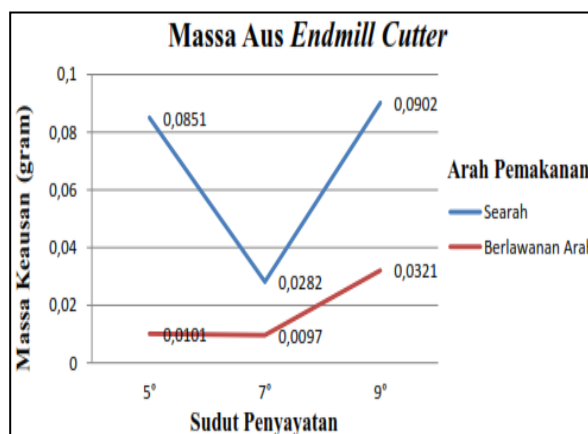
Tabel 1. Hasil Uji Kekerasan Spesimen Indentas

| No. | d1<br>( $\mu\text{m}$ ) | d2<br>( $\mu\text{m}$ ) | d<br>( $\mu\text{m}$ ) | HV            |
|-----|-------------------------|-------------------------|------------------------|---------------|
| 1.  | 54,3                    | 54,80                   | 54,57                  | 186,8         |
| 2.  | 52,0                    | 50,11                   | 51,09                  | 213,1         |
| 3.  | 54,4                    | 56,03                   | 55,25                  | 182,2         |
| 4.  | 54,5                    | 54,67                   | 54,58                  | 186,7         |
| 5.  | 55,7                    | 56,47                   | 56,08                  | 176,9         |
|     | X                       |                         |                        | <b>189,14</b> |

Spesimen memiliki kekerasan 189,14 VHN

**B. Massa Aus**

Massa aus diperoleh dari selisih antara rata-rata massa awal dan rata-rata massa akhir. Agar diperoleh hasil penimbangan yang akurat, penimbangan dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap endmill cutter kemudian dihitung rata-ratanya. Endmill cutter dan timbangan digital harus bersih dan tidak dipengaruhi oleh kondisi lingkungan (getaran, angin, dll.) yang dapat mempengaruhi hasil penimbangan, sehingga hasil penimbangan akurat.



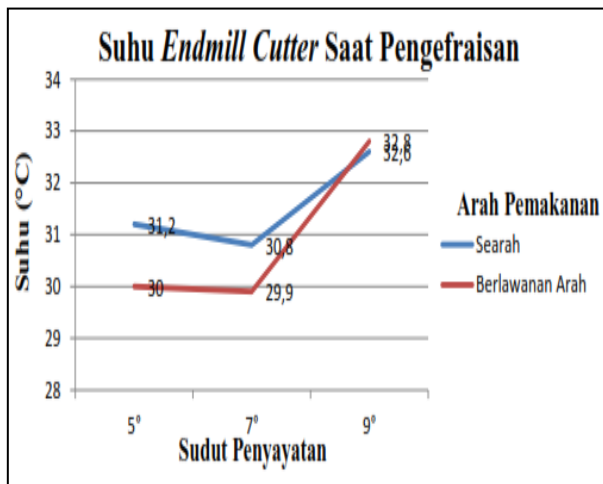
Gambar 1. Grafik Massa Aus Endmill Cutter

Massa aus endmill cutter terkecil terjadi pada sudut penyayatan 7° dengan arah pemakanan berlawanan arah, yaitu sebesar 0,0097 gram. Sedangkan massa aus endmill cutter terbesar terjadi pada sudut penyayatan 9° dengan arah pemakanan searah, yaitu sebesar 0,0902 gram.

Gesekan antara endmill cutter dengan benda kerja saat penyayatan menyebabkan adanya patikel-partikel pada mata potong endmill cutter yang hilang akibat beban dampak yang diterima, sehingga massa endmill cutter berkurang sesuai dengan keausan yang terjadi. Semakin tinggi tingkat keausan yang terjadi, semakin banyak partikel endmill cutter yang hilang. Akibatnya massa endmill cutter juga akan semakin berkurang.

### C. Suhu Endmill Cutter Saat Pengefraisan

Nugroho (2012: 88) menyebutkan bahwa peningkatan suhu menyebabkan pergerakan partikel endmill cutter semakin cepat dan ikatannya cenderung melemah, sehingga mudah terlepas apabila mengalami beban impak akibat benturan dengan benda kerja. Menurut Dolinsek dan J. Kopac (2006: 13), suhu didaerah kontak antara pahat dan benda kerja akan meningkat hingga melebihi batas tingkat ketahanan material pahat, yang akan menghasilkan peningkatan keausan kawah (crater wear), penyerpihan (chipping) pada mata sayat pahat, atau bahkan kerusakan pahat. Semakin tinggi suhu endmill cutter, maka akan semakin mudah mengalami keausan.



Gambar 2. Grafik endmill cutter saat pengefraisan

Suhu endmill cutter terendah saat pengefraisan, terjadi pada sudut penyayatan 7° dengan arah pemakanan berlawanan arah, yaitu sebesar 29,9°C, sedangkan suhu endmill cutter tertinggi terjadi pada sudut penyayatan 9° dengan arah pemakanan searah, yaitu sebesar 32,8°C.

Hal ini menunjukkan bahwa endmill cutter dengan sudut penyayatan 9° mengalami gesekan paling besar, sehingga suhu pada saat pengefraisan paling tinggi. Sedangkan

endmill cutter dengan sudut penyayatan 7° mengalami gesekan paling kecil, sehingga suhu pada saat pengefraisan paling rendah.

### D. Pengamatan Jenis Keausan Endmill Cutter

Pengamatan jenis keausan yang terjadi pada endmill cutter didasarkan pada standar ISO 8688-2 (1989) tentang pengujian umur pahat pada proses milling. Berdasarkan standar ISO 8688-2 (1989), jenis keausan endmill cutter dibedakan menjadi aus tepi (flank wear atau VB), aus muka (face wear), chipping, flaking, cracking, catastrophic failure.

Tabel 2. Jenis keausan endmill cutter

| No | Endmill Cutter | Sudut Penyayatan | Arah Pemakanan | Jenis Keausan        |
|----|----------------|------------------|----------------|----------------------|
| 1  | 111            | 5°               | Searah         | Catastrophic Failure |
| 2  | 112            | 5°               | Searah         | Non Uniform Chipping |
| 3  | 113            | 5°               | Searah         | Non Uniform VB       |
| 4  | 211            | 5°               | Berlawanan     | Uniform VB           |
| 5  | 212            | 5°               | Berlawanan     | Uniform Chipping     |
| 6  | 213            | 5°               | Berlawanan     | Uniform VB           |
| 7  | 121            | 7°               | Searah         | Non Uniform Chipping |
| 8  | 122            | 7°               | Searah         | Non Uniform Chipping |
| 9  | 123            | 7°               | Searah         | Uniform Chipping     |
| 10 | 221            | 7°               | Berlawanan     | Non Uniform Chipping |
| 11 | 222            | 7°               | Berlawanan     | Uniform VB           |
| 12 | 223            | 7°               | Berlawanan     | Uniform VB           |
| 13 | 131            | 9°               | Searah         | Uniform VB           |
| 14 | 132            | 9°               | Searah         | Catastrophic Failure |
| 15 | 133            | 9°               | Searah         | Catastrophic Failure |
| 16 | 231            | 9°               | Berlawanan     | Non Uniform Chipping |
| 17 | 232            | 9°               | Berlawanan     | Uniform Chipping     |
| 18 | 233            | 9°               | Berlawanan     | Non Uniform VB       |

### E. Pengukuran Keausan Tepi (VB) Endmill Cutter

Keausan tepi (VB) dianggap sebagai fungsi pangkat atau power

function dari waktu pemotongan (T), dan bila digambarkan pada skala dobel logaritma, maka akan mempunyai hubungan yang linear (Ansyori, 2015: 31), sehingga keausan

tepi dapat digunakan sebagai standar acuan umur pahat. Pengukuran keausan tepi dilakukan pada endmill cutter yang mengalami keausan tepi (flank wear) lihat tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Lebar Keausan Tepi

| No | Endmill Cutter | Sudut Penyayatan | Arah Pemakanan | Jenis Keausan  | Lebar VB |
|----|----------------|------------------|----------------|----------------|----------|
| 1  | 113            | 5°               | Searah         | Non Uniform VB | 0,61 mm  |
| 2  | 211            | 5°               | Berlawanan     | Uniform VB     | 0,31 mm  |
| 3  | 213            | 5°               | Berlawanan     | Uniform VB     | 0,22 mm  |
| 4  | 222            | 7°               | Berlawanan     | Uniform VB     | 0,16 mm  |
| 5  | 223            | 7°               | Berlawanan     | Uniform VB     | 0,26 mm  |
| 6  | 131            | 9°               | Searah         | Uniform VB     | 0,67 mm  |
| 7  | 233            | 9°               | Berlawanan     | Non Uniform VB | 0,16 mm  |

### F. Perbandingan Keausan Endmill Cutter

Keausan endmill cutter dalam penelitian ini dibandingkan berdasarkan jenis keausan yang terjadi, lebar keausan tepi (jika keausan yang terjadi adalah flank wear), dan massa yang hilang akibat aus. Keausan endmill cutter terkecil terjadi pada sudut penyayatan 7° dengan arah

pemakanan berlawanan arah, yaitu dengan rata-rata keausan yang terjadi adalah keausan tepi (VB) dengan lebar keausan tepi 0,21 mm, dan massa aus 0,0097 g. Keausan endmill cutter terbesar terjadi pada sudut penyayatan 9° dengan arah pemakanan searah, yaitu dengan rata-rata keausan yang terjadi adalah catastrophic failure, dengan massa aus 0,0902 g.

Tabel 4. Perbandingan Keausan Endmill Cutter

| No. | Endmill Cutter | Sudut Penyayatan | Arah Pemakanan | Jenis Keausan                      | Lebar VB       | Massa Aus       |
|-----|----------------|------------------|----------------|------------------------------------|----------------|-----------------|
| 1.  | 111            | 5°               | Searah         | <i>Catastrophic Failure</i>        | -              | 0,1206 g        |
| 2.  | 112            | 5°               | Searah         | <i>Non Uniform Chipping</i>        | -              | 0,0118 g        |
| 3.  | 113            | 5°               | Searah         | <i>Non Uniform VB</i>              | 0,61 mm        | 0,1229 g        |
|     |                | $\bar{X}$        |                | -                                  | -              | <b>0,0851 g</b> |
| 4.  | 211            | 5°               | Berlawanan     | <i>Uniform VB</i>                  | 0,31 mm        | 0,0042 g        |
| 5.  | 212            | 5°               | Berlawanan     | <i>Uniform Chipping</i>            | -              | 0,0195 g        |
| 6.  | 213            | 5°               | Berlawanan     | <i>Uniform VB</i>                  | 0,22 mm        | 0,0068 g        |
|     |                | $\bar{X}$        |                | <b><i>Uniform VB</i></b>           | <b>0,27 mm</b> | <b>0,0101 g</b> |
| 7.  | 121            | 7°               | Searah         | <i>Non Uniform Chipping</i>        | -              | 0,0167 g        |
| 8.  | 122            | 7°               | Searah         | <i>Non Uniform Chipping</i>        | -              | 0,0179 g        |
| 9.  | 123            | 7°               | Searah         | <i>Uniform Chipping</i>            | -              | 0,0501 g        |
|     |                | $\bar{X}$        |                | <b><i>Non Uniform Chipping</i></b> | -              | <b>0,0282 g</b> |
| 10. | 221            | 7°               | Berlawanan     | <i>Non Uniform Chipping</i>        | -              | 0,0021 g        |
| 11. | 222            | 7°               | Berlawanan     | <i>Uniform VB</i>                  | 0,16 mm        | 0,0012 g        |
| 12. | 223            | 7°               | Berlawanan     | <i>Uniform VB</i>                  | 0,26 mm        | 0,0259 g        |
|     |                | $\bar{X}$        |                | <b><i>Uniform VB</i></b>           | <b>0,21 mm</b> | <b>0,0097 g</b> |
| 13. | 131            | 9°               | Searah         | <i>Uniform VB</i>                  | 0,67 mm        | 0,0001 g        |
| 14. | 132            | 9°               | Searah         | <i>Catastrophic Failure</i>        | -              | 0,0936 g        |
| 15. | 133            | 9°               | Searah         | <i>Catastrophic Failure</i>        | -              | 0,1771 g        |
|     |                | $\bar{X}$        |                | <b><i>Catastrophic Failure</i></b> | -              | <b>0,0902 g</b> |
| 16. | 231            | 9°               | Berlawanan     | <i>Non Uniform Chipping</i>        | -              | 0,0042 g        |
| 17. | 232            | 9°               | Berlawanan     | <i>Uniform Chipping</i>            | -              | 0,0261 g        |
| 18. | 233            | 9°               | Berlawanan     | <i>Non Uniform VB</i>              | 0,16 mm        | 0,0018 g        |
|     |                | $\bar{X}$        |                | -                                  | -              | <b>0,0321 g</b> |

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

1. Terdapat pengaruh variasi sudut penyayatan *endmill cutter* terhadap keausan *endmill cutter* pada pengefraisan baja ST 40.
  - a. Keausan *endmill cutter* terkecil terjadi pada sudut penyayatan  $7^\circ$  dengan arah pemakanan berlawanan arah, yaitu dengan rata-rata keausan yang terjadi adalah keausan tepi (VB) dengan lebar keausan tepi 0,21 mm, dan massa aus 0,0097 g.
  - b. Keausan *endmill cutter* terbesar terjadi pada sudut penyayatan  $9^\circ$  dengan arah pemakanan searah. Yaitu dengan rata-rata keausan yang terjadi adalah *catastrophic failure*, dengan massa aus 0,0902 g.
  - c. Sudut penyayatan *endmill cutter* yang besar, akan menyebabkan mata potong lancip. Tajam pada saat awal penyayatan, namun seiring pertambahan waktu pemakanan akan mudah mengalami keausan. Sudut penyayatan *endmill cutter* yang kecil, akan menyebabkan mata potong tumpul. Mata potong menjadi tidak tajam. Akibatnya gaya pemotongan semakin besar, sehingga gesekan dengan benda kerja juga semakin besar, yang menyebabkan keausan mulai tumbuh linear sesuai waktu pemakanan.
2. Terdapat pengaruh variasi arah pemakanan terhadap keausan *endmill cutter* pada pengefraisan baja ST 40. Arah pemakanan pada proses *endmilling* Baja ST 40 menggunakan mesin frais konvensional dengan hasil keausan *endmill cutter* terkecil adalah pemakanan berlawanan arah.

### Saran

1. Pengamatan keausan *endmill cutter* dalam penelitian ini hanya dilakukan pada salah satu *flute*. Untuk selanjutnya diharapkan adanya penelitian sejenis yang mengamati seluruh *flute*, sehingga hasil penelitian akan lebih spesifik dan akurat.
2. Penelitian ini terbatas hanya pada variasi sudut penyayatan *endmill cutter*  $5^\circ$ ,  $7^\circ$ , dan  $9^\circ$ . Selanjutnya diharapkan adanya penelitian sejenis dengan variasi sudut penyayatan yang lebih variatif, agar diperoleh sudut penyayatan yang paling tepat, sehingga dapat diperoleh keausan *endmill cutter* terkecil.
3. Agar diperoleh keausan *endmill cutter* terkecil pada pengefraisan baja ST 40, sudut penyayatan *endmill cutter* yang digunakan adalah  $7^\circ$ .
4. Agar diperoleh keausan *endmill cutter* terkecil pada pengefraisan baja ST 40, arah pemakanan yang digunakan adalah pemakanan berlawanan arah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Zaenal. 2010. Mekanisme Keausan Pahat Pada Proses Pemesinan: Sebuah Tinjauan Pustaka. *Jurnal Momentum*. Vol. 6 No. 1: 9-16.
- Ansyori, Anang. 2015. Pengaruh Kecepatan Potong dan Makan terhadap Umur Pahat pada Pemesinan Frais Paduan Magnesium. *Jurnal Mechanical*. Vol. 6 No. 1: 28-35.
- Dolinsek dan J. Kopac. 2006. *Mechanism and Types of Tool Wear; Particularities in Advanced Cutting Materials*. *Journal of Achievements in Materials and*

*Manufacturing Engineering*. Vol. 19  
No. 1: 11-18.

ISO 8688-2: 1989. *Tool Life Testing in Milling. Part 2: End milling.*

Nugroho, Tri Ujan. 2012. Pengaruh Kecepatan Pemakanan dan Waktu Pemberian Pendingin Terhadap Tingkat Keausan *Cutter Endmill* HSS Hasil Pemesinan CNC *Milling* Pada Baja ST 40. *Jurnal NOSEL*. Vol. 1. No. 1.

———, 2012. Pengaruh Kecepatan Pemakanan dan Waktu Pemberian Pendingin Terhadap Tingkat Keausan *Cutter Endmill* HSS Hasil Pemesinan CNC *Milling* Pada Baja ST 40. Skripsi. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

Sumbodo, Wirawan. 2008. *Teknik Produksi Mesin Industri Jilid 2*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Widarto, dkk. 2008. *Teknik Pemesinan: Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Vobroucek, Jiri. 2015. *The Influence of Milling Tool Geometry on the Quality of the Machined Surface*. *Journal Procedia Engineering 100*: 1556-1561.

Zainuddin, dkk. 2013. 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 Nosenl*. Vol. 1 No. 4.