

## PENGARUH KECEPATAN PEMAKANAN DAN WAKTU PEMBERIAN PENDINGIN TERHADAP TINGKAT KEAUSAN *CUTTER END MILL* HSS HASIL PEMESINAN CNC *MILLING* PADA BAJA ST 40

Tri Ujan Nugroho, Herman Saputro, dan Yuyun Estriyanto

Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Pendidikan Teknik Kejuruan, FKIP, UNS  
Kampus UNS Pabelan JL. Ahmad Yani 200, Surakarta, Tlp/Fax (0271) 718419

E-mail: [trujannugroho@yahoo.com](mailto:trujannugroho@yahoo.com)

[oejannoeg@gmail.com](mailto:oejannoeg@gmail.com)

*The purpose of this research was to determine the influence of feedrate variation, timing of cooling variation, and the interaction between feedrate and timing of cooling to rate wear HSS end mill cutter in machining result CNC milling with ST 40 steel. This research is an experimental research using two factor independent variable (feedrate and timing of cooling) and one dependent variable (rate wear of HSS end mill cutter). The results data of this research described using descriptive analytic method. The results of discussion with this method was enhancement of feedrate and timing of cooling the rate wear cutter increases. Type of cutter wear that occurs is flank wear and began to grow relatively quickly then followed by a relatively slow growth to a certain cutting. The smallest edge of the cutter rate wear occurs when interaction feedrate 0.11 mm/rev with a timing of cooling 10 minutes value is 562.57  $\mu\text{m}$ , while the largest edge of the cutter rate wear occurs when interaction feedrate 0.15 mm/rev with a timing of cooling 20 minutes value is 958.65  $\mu\text{m}$ . This research suggests that interaction between feedrate and timing of cooling has a certain influence to rate wear of HSS end mill cutter in machining result CNC milling with ST 40 steel.*

**Keywords:** CNC milling, feedrate, timing of cooling, end mill cutter, flank wear

### PENDAHULUAN

Perkembangan IPTEK menuntut industri manufaktur harus mampu bersaing dalam beberapa faktor penting, seperti peningkatan kualitas produk, kecepatan proses manufaktur, penurunan biaya produksi, produksi yang aman dan ramah lingkungan.

Oleh karena itu, dibutuhkan mesin yang dapat menghasilkan produk dengan kualitas terbaik, salah satunya adalah penggunaan mesin CNC (*Computer Numerically Control*). Mesin CNC ini mempunyai ketelitian tinggi, ketepatan dimensi, waktu produksi yang lebih efektif, dan produktivitas tinggi.

Hasil pengerjaan mesin CNC bergantung pada parameter pemesinan, seperti *cutting speed*, *feedrate*, *depth of cut*, material benda, karakteristik pahat, pendinginan dan lainnya. Parameter yang mempunyai peranan penting adalah karakteristik pahat, karena hampir seluruh

pemesinan menggunakan pahat dalam bekerja. Selain itu, pahat juga menentukan kualitas produk, meningkatkan efektifitas dan efisiensi pemesinan terutama dalam hal waktu dan biaya produksi.

Dalam proses pemesinan logam, umur pahat dipengaruhi oleh keausan mata potong pahat yang terjadi akibat gesekan antara mata pahat dan benda kerja. Keausan pahat ini akan semakin besar sampai batas tertentu, sehingga pahat tidak dapat digunakan lagi. Lamanya waktu mencapai batas keausan ini didefinisikan sebagai umur pahat (*tool life*). Data umur pahat diperlukan dalam perencanaan pemesinan suatu produk, contohnya pada produksi komponen beberapa pahat harus diganti. Hal ini dapat diketahui dengan menghitung waktu total untuk memotong satu produk, kemudian dibandingkan dengan umur pahat yang digunakan. Penggunaan parameter pemotongan yang tidak tepat menyebabkan pahat mudah aus, sehingga mempengaruhi

proses produksi karena pahat akan sering diganti dan biaya produksi menjadi lebih tinggi.

Di samping penggunaan pahat, parameter lain yang harus diperhitungkan adalah fluida pendingin (*coolant*). Aplikasi fluida pendingin adalah memperbaiki kualitas produk dan memperbaiki umur pahat selama proses pemotongan. Pendingin berfungsi untuk menurunkan temperatur pemotongan dan juga sebagai pelumas. Temperatur benda kerja yang terjaga dapat memperbaiki kualitas dan penampilan benda kerja, sedangkan penurunan temperatur pada pahat dapat memperlambat keausan pahat. Namun penggunaan pendingin juga bisa menyebabkan masalah di lingkungan, karena mengandung bahan kimia yang sulit diurai oleh lingkungan.

## LANDASAN TEORI

Mesin CNC adalah suatu mesin yang menggunakan sistem pengendali program secara numerik dengan komputer. Secara numerik dikarenakan program yang digunakan adalah kode-kode *alfanumerik* (huruf dan angka). Secara umum cara mengoperasikan mesin CNC adalah dengan memasukkan perintah numerik melalui tombol-tombol yang tersedia pada panel instrumen mesin dan dapat dilakukan dengan dua macam cara, yaitu sistem *absolut* dan sistem *incremental*.

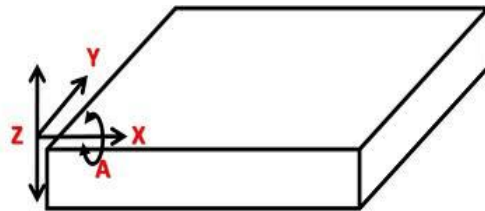
Mesin CNC *milling* adalah mesin *milling* yang pergerakan meja mesin (sumbu X dan Y), serta spindel (sumbu Z atau rumah *cutter*) dikendalikan oleh suatu program (Sujanayogi, 2010 : 25). Program berisi langkah-langkah perintah yang harus dijalankan oleh mesin CNC berupa (huruf per huruf atau angka per angka) yang disebut dengan program NC (*Numerically Controll*).

Mesin CNC *milling* dikontrol oleh komputer, sehingga semua gerakan akan berjalan secara otomatis sesuai dengan perintah program yang diberikan. Oleh karena itu, dengan program yang sama mesin ini dapat diperintahkan untuk

mengulangi proses pelaksanaan program secara terus-menerus (Joko Darmanto, 2007: 15).

Secara garis besar mesin CNC *milling* digolongkan menjadi dua, yaitu CNC *milling* TU (*Training Unit*) dan PU (*Production Unit*). Keduanya mempunyai prinsip kerja yang sama, namun berbeda dalam penggunaannya. Mesin CNC *milling* TU digunakan untuk mengerjakan pekerjaan ringan atau tidak terlalu rumit, sedangkan mesin CNC *milling* PU digunakan untuk mengerjakan pekerjaan masal karena dilengkapi dengan aksesoris yang lebih kompleks seperti *chuck* otomatis dan *toolpost* otomatis.

Mesin CNC *milling* menggunakan sistem persumbuan dengan dasar sistem koordinat kartesius. Sistem persumbuan pada mesin CNC sudah diatur berdasarkan standar ISO.



Gambar 1. Sistem Persumbuan pada Mesin CNC Milling

Prinsip kerja mesin CNC *milling* adalah gerak utama berputar dilakukan oleh alat potong atau *cutter*, sedangkan gerak makannya dilakukan oleh benda kerja yang terpasang pada meja kerja. Arah gerakan persumbuan mesin CNC *milling* yaitu sumbu X untuk arah memanjang meja, sumbu Y untuk arah melintang meja, dan sumbu Z untuk vertikal spindel.

Bagian-bagian utama mesin CNC *milling*, di antaranya:

### 1. Motor Utama

Motor utama adalah motor penggerak rumah alat potong yang berfungsi memutar alat potong (*cutting tool*). Motor ini menggunakan jenis arus searah (DC).

### 2. Motor Step

Motor step adalah motor penggerak eretan, yang merupakan gerak persumbuan jalannya mesin.

3. Meja Mesin

Meja mesin CNC *milling* bisa bergerak dalam dua sumbu yaitu sumbu X dan sumbu Y yang dilengkapi dengan motor penggerak, *ball screw plus bearing* dan *guide way slider* untuk akurasi pergerakannya.

4. Rumah Alat Potong (*Spindle*)

Rumah alat potong digunakan untuk menjepit *tool holder* pada saat proses pengerjaan benda kerja.

5. Ragum

Ragum pada mesin CNC *milling* digunakan untuk menjepit benda kerja, dilengkapi dengan *stopper* untuk batas pegangan benda kerja.

6. *Coolant Hose*

Setiap mesin dilengkapi dengan sistem pendinginan untuk *cutter* dan benda kerja. Pendingin yang paling umum digunakan yaitu *coolant* dan udara bertekanan melalui selang yang dipasang pada *block spindle*.

7. Bagian Pengendali (*Controll*)

Bagian pengendali merupakan panel kontrol mesin yang dilengkapi dengan monitor. Panel kontrol adalah kumpulan tombol-tombol panel pada bagian depan mesin dan berfungsi untuk memberikan perintah-perintah khusus pada mesin, seperti memutar *spindel*, menggerakkan meja, dan mengubah *setting parameter*.

Parameter-parameter dari mesin CNC *milling*, di antaranya:

1) Kecepatan Potong

Kecepatan potong adalah suatu harga yang diperlukan dalam menentukan kecepatan pada proses penyayatan atau pemotongan benda kerja (Suhardi, 1999 : 74).

$$V_s = \frac{\pi \times d \times S}{1000}$$

Keterangan:

$V_s$  = kecepatan potong (m/menit)

$d$  = diameter *cutter* (mm)

$S$  = putaran *spindel* (rpm)

2) Putaran Spindel

Kecepatan potong digunakan untuk menentukan kecepatan putaran *spindel*. Putaran *spindel* utama mesin

merupakan putaran *cutter* dalam satuan rpm.

$$S = \frac{V_s \times 1000}{\pi \times d}$$

Keterangan:

$S$  = putaran *spindel* (rpm)

$d$  = diameter *cutter* (mm)

$V_s$  = kecepatan potong (m/menit)

3) Pemakanan (*Feedrate*)

Pemakanan adalah kecepatan gerak dari *cutter* dalam satuan mm/rev. Kecepatan pemakanan berhubungan dengan ketebalan geram yang dihasilkan. Dalam penelitian ini penentuan *feedrate* menggunakan mm/rev dengan rumus sebagai berikut:

$$f = \frac{V_c}{n}$$

Keterangan:

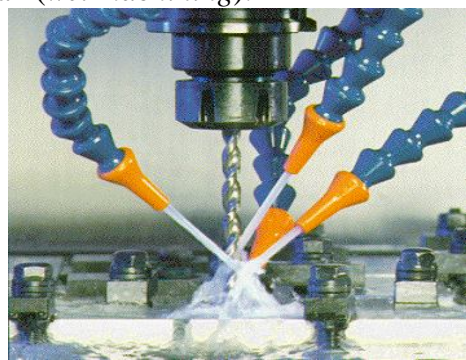
$f$  = *feedrate* (mm/rev)

$n$  = jumlah putaran (rpm)

$V_c$  = kecepatan potong (mm/menit)

Fungsi pendingin adalah untuk mengontrol temperatur pemotongan dan memperbaiki kualitas benda kerja selama proses pemotongan (*material removal*) secara terus menerus oleh *cutter* dan memperbaiki umur *cutter*.

Pada proses pemesinan dikenal dua macam kondisi pemotongan yaitu kondisi kering (*dry machining*) dan kondisi basah (*wet machining*).



Gambar 2. Pemotongan dengan Pendingin Terdapat beberapa karakteristik pendingin yang digunakan, yaitu:

1. Pendingin dari Bahan Utama Minyak (*Oil Based*)

a. *Straight Oil* (100% *Petroleum Oil*)

Disebut minyak bumi (*straight oil*), karena tidak ada kandungan air di dalamnya.

- b. *Soluble Oil* (60 s/d 90% *Petroleum Oil*)

*Soluble oil* terdiri dari campuran 60 s/d 90% minyak bumi, *emulsifier*, dan bahan tambah lain.

2. Pendingin dari Bahan Kimia

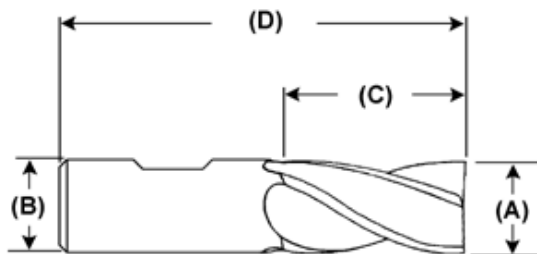
- a. Sintetis (0% *Petroleum Oil*)

Sintetis tidak mengandung minyak atau mineral lain. Secara umum terdiri dari pelumas kimia yang larut dalam air.

- b. Semisintetis (2 s/d 30% *Petroleum Oil*)

Semisintetis tersusun oleh *soluble oil* (minyak sekitar 2 s/d 30%) dan sintetis.

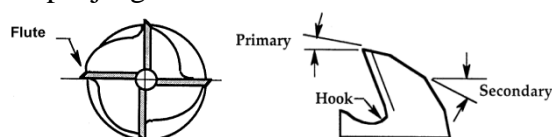
*Cutter* atau alat potong mesin CNC *milling* terdiri dari beberapa bentuk dan berbagai ukuran yang memiliki pelapis, dan jumlah sisi potong yang banyak. Pisau jari (*end mill*) merupakan salah satu jenis *cutter* mesin CNC *milling* yang banyak digunakan. Biasanya *cutter* ini terbuat dari baja kecepatan tinggi (HSS) atau karbida, dan memiliki satu atau lebih alur (*flute*).



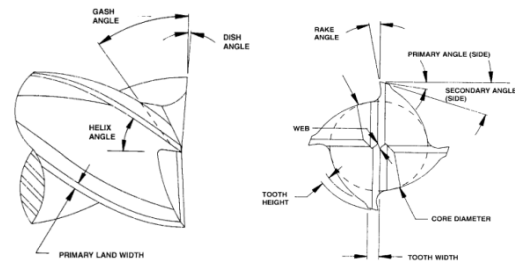
Gambar 3. Desain *Cutter End Mill*

Keterangan :

- A : ukuran diameter pemotongan
- B : diameter batang *cutter*
- C : panjang sisi potong atau panjang *flute*
- D : panjang keseluruhan



Gambar 4. Desain Sisi Potong *Cutter End Mill*



Gambar 5. Geometri Sisi Potong *Cutter End Mill*

Gesekan yang dialami pahat dengan benda kerja mengakibatkan pahat mengalami keausan. Keausan pahat ini semakin membesar sampai batas tertentu pahat tidak dapat dipergunakan lagi atau mengalami kerusakan karena temperatur yang tinggi, maka permukaan aktif dari pahat akan mengalami keausan. Keausan tergantung juga pada jenis material pahat, benda kerja yang dipilih, geometri pahat dan fluida yang digunakan sebagai pendingin (Kalpakjian, 1995).

Tipe keausan pahat dapat dikelompokkan menjadi:

1. Aus Tepi (*Flank Wear*)

Aus tepi yaitu keausan pada bidang mayor atau utama. Keausan tepi dapat diukur menggunakan mikroskop dengan mengatur bidang mata potong, sehingga tegak lurus dengan bidang optik.

2. Aus Kawah (*Crater Wear*)

Keausan pada bidang geram disebut keausan kawah (*crater wear*). Keausan kawah hanya dapat diukur dengan menggunakan alat ukur kekasaran permukaan. Dalam hal ini sensor alat ukur digeserkan pada bidang geram.

3. *Deformasi Plastis*

Aus pahat berupa *deformasi plastis* disebabkan tekanan temperatur yang tinggi pada bidang aktif pahat, di mana kekerasan dan kekuatan material pahat akan turun bersama dengan naiknya temperatur.

4. Pengelupasan (*Flaking*)

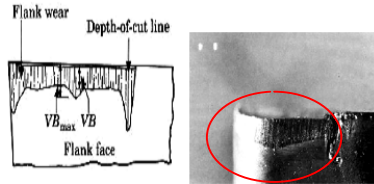
Pengelupasan merupakan bentuk aus pahat yang letaknya sama dengan aus tepi (*flank wear*), tetapi bentuknya lebih kecil dan halus.

5. Penyerpihan (*Chipping*)

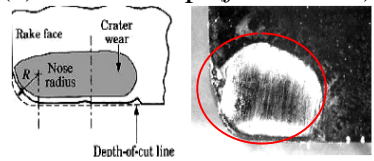
Penyerpihan merupakan bentuk cacat kecil pada pahat yang terletak pada sisi mata pahat (*cutting edge*).

6. *Built Up Edge*

*Built up edge* terjadi karena material benda kerja menyatu dengan mata pahat.



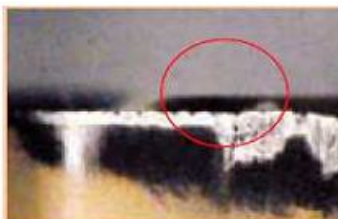
(a) Keausan tepi (*flank wear*)



(b) Keausan Kawah (*Crater Wear*)



(c) *Deformasi Plastik*



(d) Penyerpihan (*Chipping*)



(e) *Built Up Edge*

Gambar 6. Karakteristik Keausan Pahat (Sumber: Saputro, 2010: 17)

Keausan tepi (*VB*) dianggap sebagai fungsi pangkat (*power function*) dari waktu pemotongan. Persamaan kriteria umur pahat ditemukan oleh F.W. Taylor dan sering disebut dengan "*Taylor's tool life equation*".

$$V_c \cdot T^n = C_T$$

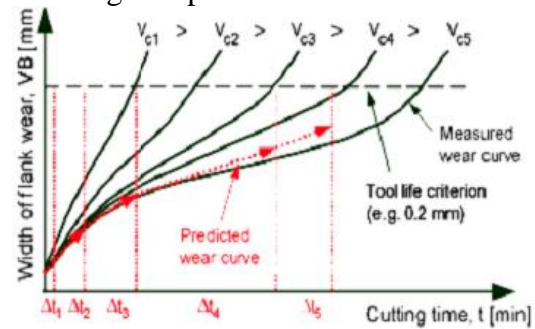
Keterangan:

$C_T$  = konstanta umur pahat Taylor ( $\mu\text{m}$ )

$V_c$  = kecepatan potong (mm/menit)

$T$  = Lama waktu pemotongan (menit)

$n$  = harga eksponen



Gambar 7. Pertumbuhan Keausan Tepi untuk Gerak Makan dan Kecepatan Potong tertentu

Tool material	Taylor exponent n	Density (Kg/m <sup>3</sup> ) p	Thermal conductivity (W/m <sup>2</sup> K) k	Specific heat capacity (J/Kg <sup>2</sup> K) c
High speed steel	0.08-0.15	7800	38.9-62.5	343-574
Cast cobalt or satellite	0.10-0.16	9130	113	385
Cemented carbides ceramics	0.50-0.70	3800-3970	6.74-46	765
Cubic boron nitrides	0.50-0.70	3450	20-130	810

Gambar 8. Tabel Harga Eksponen  $n$  pada Persamaan Taylor

**METODE PENELITIAN**

Material penelitian merupakan bahan atau objek yang diteliti untuk diambil datanya.

1. Baja ST 40

Penelitian ini menggunakan material baja ST 40 (ukuran 100 x 45 x 45 mm) dengan nilai kekerasan 55,7 HRA.

2. *Cutter End Mill*

Penelitian ini menggunakan *cutter end mill* HSS tipe "KOBE" produksi Jepang dengan ukuran geometri 12x12x26x83.

Untuk peralatan yang digunakan pada penelitian ini meliputi:

1. Mesin Gergaji Potong

Mesin gergaji potong merupakan mesin yang digunakan untuk memotong panjang baja ST 40.



Gambar 9. Mesin Gergaji Potong

2. Timbangan Digital

Timbangan digital merupakan alat yang digunakan untuk menghitung muatan dengan ketelitian tinggi. Timbangan ini digunakan untuk mengetahui berat *cutter* yang hilang karena mengalami keausan.



Gambar 10. Timbangan Digital

3. Infrared Thermometer

*Infrared thermometer* merupakan salah satu alat yang digunakan untuk mengukur suhu atau temperatur suatu objek. Alat ini digunakan untuk mengetahui besarnya suhu atau temperatur pemotongan pada waktu *cutter end mill* menyayat benda kerja.



Gambar 11. Infrared Thermometer

4. Mesin CNC Milling

Mesin *CNC milling* adalah mesin *milling* yang diprogram secara numerik dengan komputer. Mesin *CNC milling* digunakan untuk proses pemesinan.



Gambar 12. Mesin CNC Milling

5. Zoom Stereo Microscope

*Zoom stereo microscope* merupakan jenis mikroskop yang biasa digunakan untuk pembesaran benda hingga 100 kali. Mikroskop ini digunakan untuk pengambilan foto makro mata potong *cutter* yang nantinya digunakan untuk mengukur luas bidang aus *cutter* dan untuk mengetahui jenis keausan *cutter*.



Gambar 13. Zoom Stereo Microscope

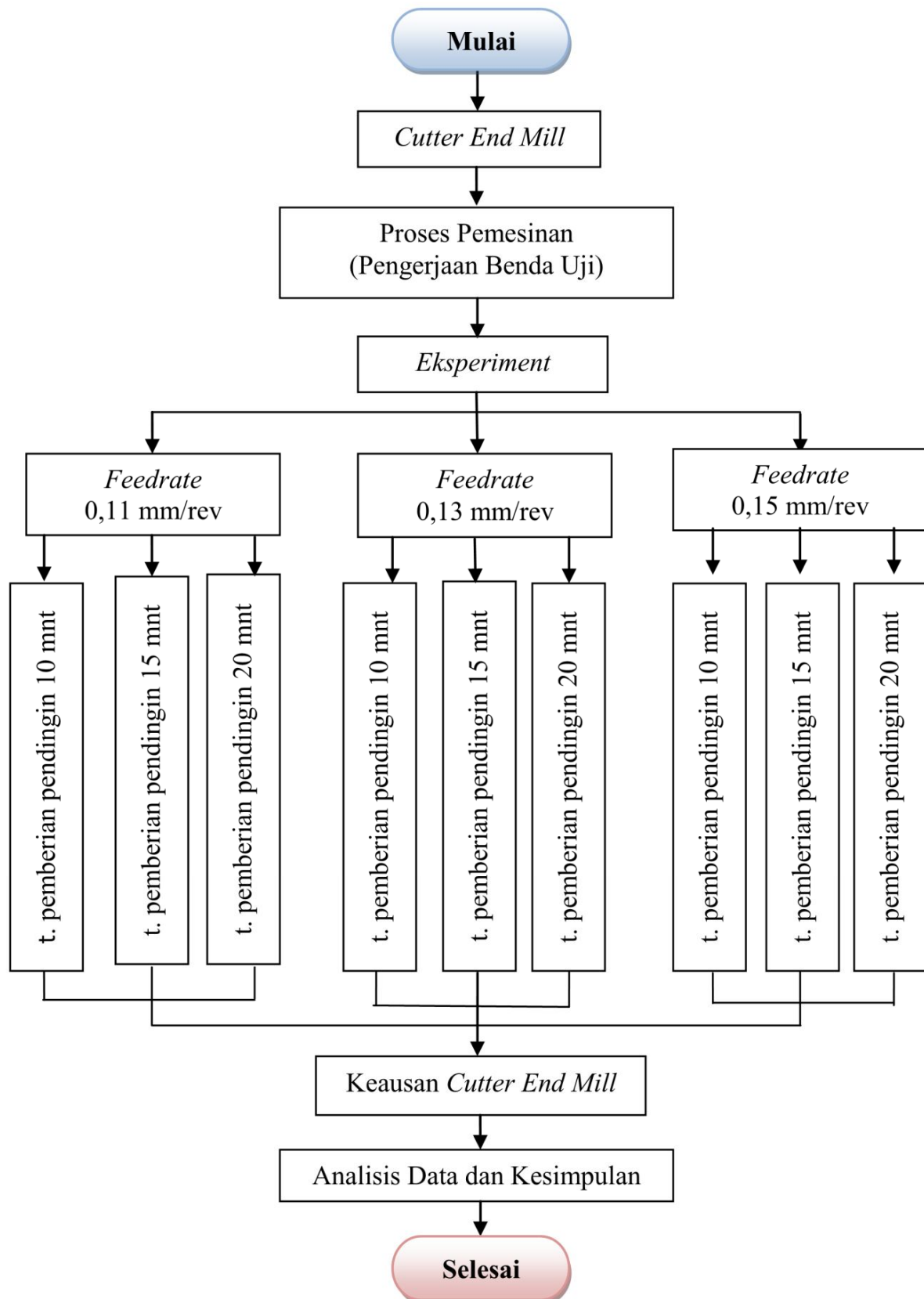
6. Alat Uji Keausan Cutter

Alat yang digunakan untuk mengukur keausan tepi adalah *mitutoyo toolmaker microscope*, tapi dapat juga menggunakan *mikro vickers machine*, yang sebenarnya merupakan alat ukur kekerasan logam dan memiliki ketelitian  $0,01\mu\text{m}$ .



Gambar 14. Mikro Vickers Machi

Tahap eksperimen dalam penelitian ini dapat digambarkan dengan diagram alir eksperimen sebagai berikut:



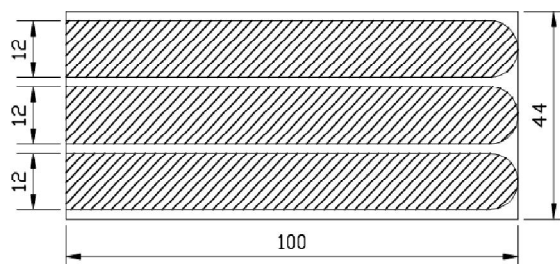
Gambar 15. Diagram Alir Penelitian

### Prosedur Penelitian

1. Memeriksa kondisi mesin CNC *milling* agar siap digunakan.
2. Menyiapkan *cutter end mill* HSS.
3. Menyiapkan material baja ST 40.
4. Menyiapkan cairan pendingin dengan mengisikannya pada blok pendingin mesin CNC *milling*.
5. Memotong material baja ST 40.
6. Memasukkan program kerja pada mesin CNC *milling*
7. Memasang benda kerja pada ragum dan memasang *cutter end mill* pada spindel mesin.
8. Memulai proses pengerjaan pembuatan benda kerja melalui pemesinan CNC *milling*.
9. Melakukan pengukuran suhu *cutter* dengan *infrared thermometer*.
10. Melakukan penimbangan *cutter*, pengambilan foto makro, dan pengukuran tingkat keausan *cutter*.
11. Melaksanakan uji keausan *cutter end mill* menggunakan *mikro vickers machine*.
12. Menganalisis dan membahas data penelitian, serta membuat kesimpulan.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah penyayatan *cutter* dilakukan dengan satu arah gerak pemakanan, yaitu dari sisi kiri ke sisi kanan.

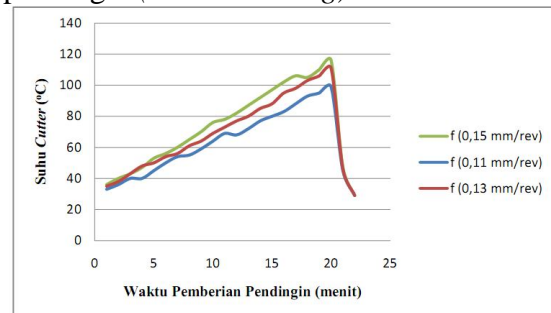


Pengukuran suhu *cutter* dilakukan menggunakan *infrared thermometer* tipe “KRISBOW KW06-280” saat pemesinan.



Gambar 17. Pengukuran Suhu *Cutter* dengan *Infrared Thermometer*

Pengukuran suhu dengan *infrared thermometer* dilakukan untuk mengetahui besarnya kenaikan suhu yang terjadi pada *cutter* setiap menit. Pengukuran dilakukan sebelum pemberian pendingin (*dry machining*) dan sesudah pemberian pendingin (*wet machining*).



Gambar 18. Interaksi Waktu Pemberian Pendingin dengan Kecepatan Pemakanan terhadap Temperatur *Cutter*

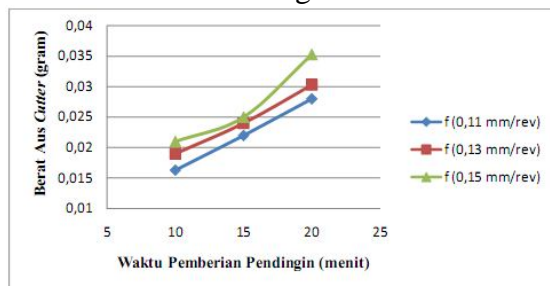
Menurut grafik pada Gambar 18 dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan pemakanan dan semakin lama waktu pemberian pendingin, maka suhu *cutter* juga akan meningkat. Hal ini dikarenakan hampir seluruh energi pemotongan diubah menjadi panas melalui gesekan.

Penimbangan *cutter* dilakukan untuk mengetahui berat *cutter* yang hilang atau aus karena bergesekan dengan benda kerja. Pengukuran berat *cutter* dilakukan sebelum dan sesudah pemesinan dengan timbangan digital “AND ELECTRONIC BALANCE FX-400” dengan ketelitian 0,001 gram dan beban maksimal 410 gram.





Gambar 19. Penimbangan *Cutter End Mill*



Gambar 20. Interaksi Waktu Pemberian Pendingin dengan Kecepatan Pemakanan terhadap Berat Aus *Cutter End Mill*

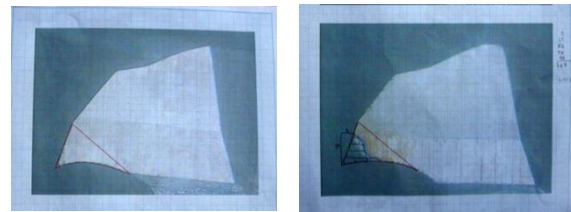
Menurut grafik pada Gambar 20 dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan pemakanan dan semakin lama waktu pemberian pendingin, maka pengurangan berat *cutter* atau berat aus juga semakin besar. Pengurangan berat aus bukan hanya terjadi pada salah satu sisi potong *cutter*, tetapi pada semua sisi mata potong.

Pengambilan foto makro keausan *cutter end mill* menggunakan *zoom stereo microscope* tipe “OLYMPUS U-PMTVC” buatan Jepang. Pengambilan foto makro dimaksudkan untuk mengetahui jenis keausan *cutter* yang terbentuk dan juga digunakan untuk pengukuran luas bidang *cutter* yang aus.



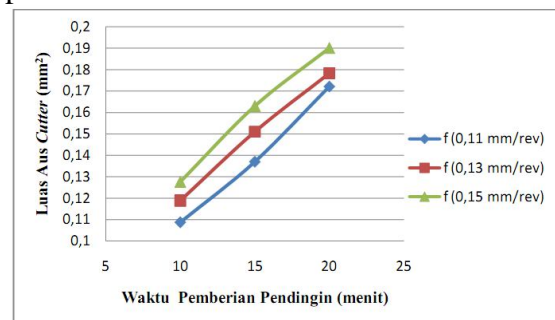
Gambar 21. Pengambilan Foto Makro *Cutter* dengan *Zoom Stereo Microscope*

Pengukuran luas bidang aus *cutter* dilakukan dengan menggunakan kertas milimeter blok.



Gambar 22. Pengukuran Luas Bidang Aus *Cutter* dengan *Milimeter Block*

Pengukuran dan perhitungan luas bidang aus dilakukan secara manual. Awalnya foto *cutter* yang baru diberi batasan garis pada salah satu ujung mata potongnya, kemudian batasan garis tersebut dicopy dan diletakkan pada ujung *cutter* yang aus. Secara teliti luas bidang aus dihitung dengan cara luas bidang aus *cutter* dari kertas milimeter dibagi kuadrat perbesaran foto makro *cutter*.



Gambar 23. Interaksi Waktu Pemberian Pendingin dengan Kecepatan Pemakanan terhadap Luas Aus *Cutter End Mill*

Menurut data pada Gambar 23 dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan pemakanan dan semakin lama waktu pemberian pendingin maka luas bidang aus *cutter* semakin besar.

Pengukuran tingkat keausan tepi dilakukan dengan meletakkan *cutter* pada landasan jepit dengan posisi tegak lurus sumbu optik *mikro vickers machine*.

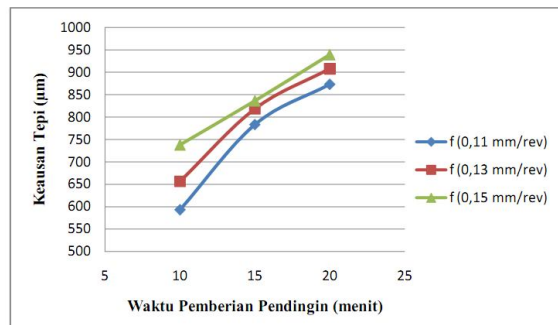


Gambar 24. Pengukuran Keausan Tepi *Cutter End Mill*

Tabel 1. Rata-Rata Hasil Pengukuran Keausan Tepi *Cutter End Mill*

Waktu pemberian pendingin (menit)	Kecepatan pemakanan (mm/rev)		
	0,11	0,13	0,15
10	593,04 $\mu\text{m}$	656,69 $\mu\text{m}$	738,03 $\mu\text{m}$
15	783,37 $\mu\text{m}$	818,73 $\mu\text{m}$	836,48 $\mu\text{m}$
20	873,25 $\mu\text{m}$	908,04 $\mu\text{m}$	939,67 $\mu\text{m}$

Berdasarkan data hasil pengukuran tingkat keausan tepi *cutter* diperoleh tingkat keausan tepi *cutter* terkecil terjadi saat interaksi kecepatan pemakanan 0,11 mm/rev dengan waktu pemberian pendingin 10 menit yaitu sebesar 593,04  $\mu\text{m}$ , sedangkan tingkat keausan tepi *cutter* terbesar terjadi saat interaksi kecepatan pemakanan 0,15 mm/rev dengan waktu pemberian pendingin 20 menit yaitu sebesar 939,67  $\mu\text{m}$ .

Gambar 25. Interaksi Waktu Pemberian Pendingin dengan Kecepatan Pemakanan terhadap Keausan *Cutter End Mill*

Berdasarkan hasil pengujian dan pengukuran tingkat keausan *cutter* yang digunakan untuk pemesinan, keausan *cutter* mulai tumbuh relatif cepat pada awal penggunaan, kemudian diikuti dengan pertumbuhan yang relatif lambat sampai pada pemotongan yang telah ditentukan. Keausan *cutter* terjadi karena adanya gesekan antara *cutter* dan benda kerja yang mengakibatkan terjadinya peningkatan temperatur, sehingga pergerakan antar partikel pada *cutter* menjadi lebih cepat. Pergerakan antar partikel yang semakin cepat mengakibatkan ikatannya cenderung melemah, sehingga mudah terlepas karena adanya beban dampak yang berasal dari benturan *cutter* dengan benda kerja saat dilakukan penyayatan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### 1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa semakin tinggi kecepatan pemakanan dan semakin lama waktu pemberian pendingin yang digunakan maka laju kenaikan suhu *cutter*, laju berat aus *cutter*, dan luas bidang aus *cutter* semakin tinggi.

Tipe keausan *cutter end mill* hasil pemesinan CNC *milling* pada baja ST 40 adalah keausan tepi (*flank wear*). Tingkat keausan tepi *cutter* paling kecil terjadi saat interaksi *feedrate* 0,11 mm/rev dengan waktu pemberian pendingin 10 menit yaitu sebesar 593,04  $\mu\text{m}$ , sedangkan tingkat keausan tepi *cutter* paling besar terjadi saat interaksi *feedrate* 0,15 mm/rev dengan waktu pemberian pendingin 20 menit yaitu sebesar 939,67  $\mu\text{m}$ . Keausan tepi mulai tumbuh dengan relatif cepat, kemudian diikuti dengan pertumbuhan yang relatif lambat sampai pada pemotongan yang telah ditentukan.

### 2. Saran

- Pengujian dan pengukuran tingkat keausan *cutter end mill* pada hanya dilakukan pada salah satu sisi mata potong, sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menguji dan mengukur semua sisi mata potong *cutter end mill* agar hasil penelitian lebih spesifik dan akurat.
- Penelitian ini terbatas pada dua parameter pemesinan yaitu *feedrate* dan waktu pemberian pendingin, sehingga perlu adanya penelitian lanjutan dengan memperbanyak variasi parameter dan replikasi yang digunakan, serta pengaruhnya pada jenis *cutter* lain.

## DAFTAR PUSTAKA

- Astakhov, V.P. (2004). *The Assessment Of Cutting Tool Wear*. International Journal Of Machine Tools & Manufacture. 44: 637–647.

- Daniel. 2009. *Optimasi Parameter Pemesinan Proses CNC Freis terhadap Hasil Kekasaran Permukaan dan Keausan Pahat Menggunakan Metode Taguchi*. Semarang: Tugas Sarjana Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
- Darmanto, J. 2007. *Modul CNC Milling*. Surakarta: Yudhistira.
- Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret. 2012. *Pedoman Penulisan Skripsi*. Surakarta: UNS Pers.
- Giyatno. 2009. *Optimasi Parameter Proses Pemesinan terhadap Keausan Pahat dan Kekasaran Permukaan Benda Hasil Proses CNC Turning dengan Menggunakan Metode Taguchi*. Semarang: Tugas Sarjana Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
- Kalpakjian, S., 1995. *Manufacturing Engineering and Technology*. 3rd edition. New York: Addyson-Wesley Publishing Company.
- Saputro, H. 2011. *Model Matematik untuk Memprediksi Kekasaran Permukaan dan Studi Keausan Pahat pada Proses Pemesinan CNC Bubut*. Semarang : Tesis, Universitas Diponegoro.
- Sugiyono. 2011. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Suhardi. 1999. *Teknologi Permesinan*. Surakarta: Pendidikan Teknik Mesin UNS.
- Sujanayogi. 2010. *Mesin CNC*. Bandung: Fakultas Teknologi Industri ITB.
- Sutopo, A. N. 2006. *Pengaruh Variasi Kecepatan Potong, Feeding, dan Kedalaman Potong terhadap Umur Pahat HSS yang Dilapis ALN-TiN-ALN*. Yogyakarta: Jurnal Teknik Mesin Universitas Negeri Yogyakarta.
- Turnad L. Ginta. 2009. *Improved Tool Life in End Milling Ti-6Al-4V Through Workpiece Preheating*. European Journal of Scientific Research. Vol.27 No.3 : 384-391.
- Widarto. 2008. *Teknik Pemesinan Jilid 2 untuk SMK*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- Wijayanto, D. S. & Estriyanto, Y. 2005. *Teknologi Mekanik Mesin Perkakas*. Surakarta: LPP dan UNS Press.
- Yohanes. 2010. *Menentukan Umur dan Menganalisa Keausan Pahat HSS End Mill pada Machining Center MC 520 Stama dengan Memperhatikan MQL dan Dry Machining untuk High Speed Machining*. Riau: Jurnal Teknik Universitas Riau.
- Yudi. 2012. *Kajian Keausan Pahat CBN pada Proses Pembubutan Kecepatan Tinggi Kondisi Potong Keras dan Kering Bahan AISI 4140*. Sumatera: Tesis Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.