

**PENGARUH PARAMETER PEMOTONGAN  
PADA KEKASARAN PERMUKAAN BAJA KARBON RENDAH**

**THE EFFECTS OF CUTTING PARAMETERS ON THE SURFACE  
ROUGHNESS OF LOW CARBON STEEL**

**TUGAS AKHIR**

**Nomor Soal : 255 / FT\_USD / TM / Agustus / 2002**

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Program Studi Teknik Mesin**



**Oleh :**

**THOMAS ONY KURNIAWAN**

**NIM : 995214132**

**NIRM : 993051123109120132**

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SANATA DHARMA  
YOGYAKARTA  
2002**

**PENGARUH PARAMETER PEMOTONGAN  
PADA KEKASARAN PERMUKAAN BAJA KARBON RENDAH**

**TUGAS AKHIR**

**Nomor Soal : 255 / FT\_USD / TM / Agustus / 2002**

Oleh :

THOMAS ONY KURNIAWAN

NIM : 995214132

NIRM : 993051123109120132

Telah disetujui oleh :


Pembimbing Utama



Ir. Subarmono, M.T.

21 September 2002

Pembimbing Kedua



RB. Dwiseno Wihadi, S.T., M.Si.

21 September 2002

**PENGARUH PARAMETER PEMOTONGAN  
PADA KEKASARAN PERMUKAAN BAJA KARBON RENDAH**

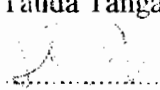
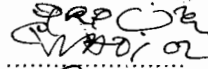

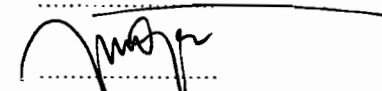

**TUGAS AKHIR**

**Nomor Soal : 255 / FT\_USD / TM / Agustus / 2002**

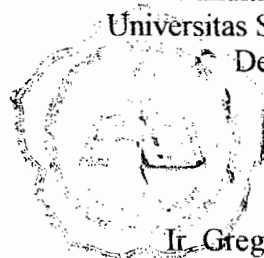
Dipersiapkan dan ditulis oleh :  
Thomas Ony Kurniawan  
NIM : 995214132  
NIRM : 993051123109120132

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Penguji  
pada tanggal : 21 September 2002  
dan dinyatakan memenuhi syarat

**Susunan Panitia Penguji :**

	Nama Lengkap	Tanda Tangan
Ketua	Ir. Greg. Harjanto.	
Sekretaris	Ir. PK. Purwadi, M.T.	
Anggota	Ir. Subarmono. M.T.	
Anggota	RB. Dwiseno Wihadi, S.T., M.Si.	
Anggota	I Gusti Ketut Puja, S.T., M.T.	

Yogyakarta, 21 September 2002  
Fakultas Teknik  
Universitas Sanata Dharma  
Dekan,



Ir. Greg. Harjanto



**TUGAS AKHIR PROGRAM S-1 JURUSAN TEKNIK MESIN**

Nomor : 255 / FT\_USD / TM / Agustus / 2002

Diberikan kepada :  
Nama Mahasiswa : Thomas Ony Kurniawan  
Nomor Mahasiswa : 995214132  
NIRM : 993051123109120132  
Jurusan : TEKNIK MESIN  
Fakultas : TEKNIK  
Matakuliah : Mesin CNC dan CAD / CAM  
Juduk / naskah soal :

Optimasi parameter pemotongan ( speed, feed dan dalamnya pemotongan ) mesin CNC.

Tanggal dimulai : 30 Oktober 2001

Dosen Pembimbing Kedua

( RB. Dwiseno Wihadi, S.T., M.Si. )

Yogyakarta, 13 Agustus 2002  
Dosen Pembimbing Utama

( Ir. Subarmono, M.T. )

## **PERNYATAAN**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir yang saya tulis ini tidak memuat karya orang lain, kecuali yang telah disebutkan dalam daftar pustaka sebagaimana layaknya karya ilmiah.

Yogyakarta, 11 September 2002

Penulis,

Thomas Ony Kurniawan

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Kupersembahkan untuk yang terkasih :*

*Bapak dan Ibu, Mas Koko sekeluarga, Mas Pras dan Dik Aji,  
serta semua rekan-rekan yang telah membantu dan mendoakan  
penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yesus Kristus atas rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "Pengaruh Parameter Pemotongan Pada Kekasaran Permukaan Baja Karbon Rendah".

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta.

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih atas segenap bantuan yang telah diberikan oleh berbagai pihak. Ucapan terima kasih penulis tujukan kepada :

1. Bapak Ir. Subarmono, M.T., selaku dosen pembimbing utama yang telah memberi bimbingan dan perhatian selama penelitian dan penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak RB. Dwiseno Wihadi, S.T., M.Si., selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberi bimbingan dan perhatian selama penelitian dan penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Greg. Harjanto, yang telah memberi bimbingan dan semangat selama masa kuliah sampai dengan penelitian dan penyusunan tugas akhir ini.
4. Pimpinan dan karyawan Laboratorium Ilmu Bahan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

5. Segenap rekan-rekan di Jurusan D3 Mekatronika Universitas Sanata Dharma Yogyakarta yang telah memberi semangat guna penyelesaian tugas akhir ini.
6. Segenap Dosen dan Karyawan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta serta semua pihak yang telah memberi bantuan dan semangat, namun tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.
7. Yohana Yanuar Limbawati, yang telah menemani dan memberi semangat kepada penulis dalam penelitian dan penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dikarenakan keterbatasan pengetahuan dan pengalaman dari penulis. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang sifatnya membangun. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Yogyakarta, September 2002

Penulis



**PENGARUH PARAMETER PEMOTONGAN  
PADA KEKASARAN PERMUKAAN BAJA KARBON RENDAH**

**THE EFFECTS OF CUTTING PARAMETERS ON THE SURFACE  
ROUGHNESS OF LOW CARBON STEEL**

***ABSTRACT***

*Work piece machining process using machine tools should notice the datas related to the specification of the material, and cutting tool specifications. This process was to obtain a good product quality and to improve lifetime of the cutting tool used.*

*The research was done to know the influence of cutting speed value and the depth to the one criteria of product quality, the roughness of the low carbon steel workpiece's surface also to determine the appropriate of cutting speed value . The research used DMC 63V CNC milling machine with end-mill inserted tip carbide. The research was done by processing 7 specimens which had different cutting speed values, between 70 – 160 m/minute. Each specimen was processed by using 5 cutting depth steps, between 0.5 – 2.5 mm.*

*The result showed that the appropriate cutting speed value in order to process the specimens was 145 m/minute. From the research's result was also obtained that the depth of cut used in specimen's machining process was 1.5 mm in depth.*

## **THE EFFECTS OF CUTTING PARAMETERS ON THE SURFACE ROUGHNESS OF LOW CARBON STEEL**

### **PENGARUH PARAMETER PEMOTONGAN PADA KEKASARAN PERMUKAAN BAJA KARBON RENDAH**

#### **INTISARI**

Proses pengerjaan benda kerja dengan menggunakan mesin perkakas perlu memperhatikan data-data yang berhubungan dengan material yang akan dikerjakan, serta bahan dan jenis dari alat potong yang digunakan. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kualitas hasil pengerjaan yang baik serta untuk menjaga umur pakai alat potong yang digunakan.

Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh nilai kecepatan potong dan kedalaman pemotongan terhadap salah satu dari kriteria hasil pengerjaan yang baik, yaitu kekasaran permukaan benda kerja baja karbon rendah serta menentukan nilai kecepatan potong yang paling sesuai. Penelitian menggunakan mesin CNC DMC 63V dengan memakai alat potong *end-mill inserted tip carbide*. Penelitian dilakukan dengan mengerjakan 7 (tujuh) benda uji yang menggunakan nilai kecepatan potong berbeda, antara 70 – 160 m/menit. Setiap benda uji dikerjakan dengan 5 (lima) tingkatan kedalaman pemotongan, antara 0,5-2,5 mm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kecepatan potong yang paling sesuai untuk mengerjakan benda uji adalah 145 m/menit. Dari hasil penelitian juga diperoleh bahwa kedalaman pemotongan pada proses pengerjaan benda uji yang paling sesuai adalah sebesar 1,5 mm.



## DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul .....	i
Halaman Pengesahan Pembimbing .....	ii
Halaman Pengesahan Ujian .....	iii
Halaman Soal .....	iv
Halaman Pernyataan .....	v
Halaman Persembahan .....	vi
Kata Pengantar .....	vii
Abstract .....	ix
Intisari .....	x
Daftar Isi .....	xi
Daftar Gambar .....	xii
Daftar Tabel dan Grafik .....	xiii
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
I.1. Latar Belakang .....	1
I.2. Permasalahan .....	2
I.3. Tujuan Penelitian .....	2
<b>BAB II. LANDASAN TEORI</b> .....	<b>3</b>
II.1. Mesin Frais Vertikal .....	3
II.2. Mesin CNC DMC 63V .....	4
II.3. Proses Pemotongan Logam .....	10
II.4. Kecepatan Potong, Putaran, Feedrate, Depth of cut dalam pemotongan logam .....	18
II.5. Kekasaran Permukaan .....	23
II.6. Baja Karbon Rendah .....	26
II.7. Hipotesa .....	27
<b>BAB III. METODE PENELITIAN</b> .....	<b>28</b>
III.1. Bahan Penelitian .....	28
III.2. Peralatan Penelitian .....	28
III.3. Pelaksanaan Penelitian .....	29
III.4. Kesulitan yang Dihadapi .....	36
<b>BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>36</b>
IV.1. Hasil Penelitian .....	36
IV.2. Pembahasan .....	38
<b>BAB V. PENUTUP</b> .....	<b>45</b>
V.1. Kesimpulan .....	45
V.2. Saran .....	45
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>46</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>47</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Panel Kontrol Mesin .....	6
2. Sistem Koordinat Kartesian Absolut .....	8
3. Sistem Koordinat Kartesian Inkremental .....	9
4. Macam-macam Bentuk <i>End Mill Inserted Tip</i> .....	12
5. Penjepitan <i>Carbide</i> .....	16
6. Lapisan <i>Coated Carbide</i> .....	18
7. Penyimpangan Rata-rata Aritmetik $R_a$ dari Gari Rata-rata Profil .....	24
8. Ketinggian Sepuluh Titik $R_a$ dari Ketidakrataan .....	25
9. Ketinggian Maksimum $R_a$ dari Ketidakrataan .....	25
10. Gerakan Alat Potong .....	35
11. Grafik Pengaruh kecepatan potong - kekasaran permukaan pada kedalaman pemotongan (doc) = 2,5 mm .....	40
12. Grafik Pengaruh kecepatan potong - kekasaran permukaan pada kedalaman pemotongan (doc) = 2 mm .....	41
13. Grafik Pengaruh kecepatan potong - kekasaran permukaan pada kedalaman pemotongan (doc) = 1,5 mm .....	42
14. Grafik Pengaruh kecepatan potong - kekasaran permukaan pada kedalaman pemotongan (doc) = 1 mm .....	43
15. Grafik Pengaruh kecepatan potong - kekasaran permukaan pada kedalaman pemotongan (doc) = 0,5 mm .....	44
16. Grafik Pengaruh kedalaman pemotongan - kekasaran permukaan ...	46

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Kecepatan Potong .....	21
4.1. Pengukuran kekasaran permukaan dengan kedalaman pemotongan = 2,5 mm.....	38
4.2. Pengukuran kekasaran permukaan dengan kedalaman pemotongan = 2 mm.....	39
4.3. Pengukuran kekasaran permukaan dengan kedalaman pemotongan = 1,5 mm.....	39
4.4. Pengukuran kekasaran permukaan dengan kedalaman pemotongan = 1 mm.....	39
4.5. Pengukuran kekasaran permukaan dengan kedalaman pemotongan = 0,5 mm.....	40

# BAB I

## PENDAHULUAN

### II.1. Latar Belakang

Mesin CNC (*Computer Numerical Control*) adalah salah satu dari sekian banyak peralatan permesinan yang banyak dipakai pada proses pengerjaan benda kerja. Mesin CNC digunakan pada proses pengerjaan benda kerja yang dituntut mempunyai ketelitian yang tinggi, terutama pada pengerjaan benda kerja dalam jumlah yang banyak sehingga ukuran yang dihasilkan lebih seragam dibandingkan apabila dikerjakan dengan memakai mesin manual/konvensional. Mesin CNC mampu membuat bentuk-bentukan khusus (tiga dimensi) yang tidak dapat dikerjakan dengan memakai mesin konvensional karena ketiga sumbu mesin CNC dapat bergerak secara bersama.

Pada proses pengerjaan benda kerja, kecepatan potong untuk setiap material berbeda tergantung jenis material yang dikerjakan dan alat potong yang digunakan. Namun seringkali operator mesin tidak memperhatikan data alat potong dan perhitungan pada proses pengerjaan benda kerja, hanya mengandalkan kebiasaan, selama proses permesinan tidak mengakibatkan kerusakan benda kerja maupun mesin yang digunakan. Pemilihan kecepatan potong yang tepat sangat berpengaruh terhadap kualitas permukaan benda kerja yang dihasilkan. Apabila kecepatan potong dari material yang akan dikerjakan sudah diketahui maka dapat ditentukan putaran alat potong (*rpm*), kecepatan pemakanan (*feedrate*) serta kedalaman pemotongan (*depth of*

cut), tentunya harus disesuaikan dengan jenis alat potong yang digunakan untuk mengerjakan material tersebut.

## **II.2. Permasalahan**

Data kecepatan potong untuk mengerjakan material tertentu dan data yang terdapat pada data alat potong biasanya mempunyai nilai dengan kisaran tertentu. Besarnya kecepatan potong yang digunakan akan berpengaruh terhadap kualitas permukaan benda kerja, karena nilai kecepatan potong berpengaruh terhadap perhitungan besarnya putaran alat potong (*rpm*), kecepatan pemakanan (*feedrate*) saat proses permesinan. Kedalaman pemotongan (*depth of cut*) untuk proses pengerjaan benda kerja juga berpengaruh terhadap kualitas permukaan yang dihasilkan.

## **II.3. Tujuan penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pengambilan nilai kecepatan potong pada proses pengerjaan benda kerja dengan material baja karbon rendah (*mild steel*) dan jenis alat potong *end mill inserted tip carbide* sehingga dapat ditentukan nilai kecepatan potong yang paling sesuai serta kedalaman pemotongan yang paling sesuai agar kualitas permukaan yang dihasilkan memiliki nilai kekasaran yang paling rendah pada proses permesinan menggunakan mesin CNC DMC 63V.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **II.1. Mesin frais vertikal**

Mesin frais (*milling machine*) adalah mesin yang paling mampu melakukan lebih banyak tugas dibandingkan mesin perkakas yang lain, yang meliputi *milling, drilling, boring* dan *slotting*. Berbagai macam bentuk dapat dikerjakan di mesin ini dengan menggunakan berbagai jenis dan bentuk alat potong yang digunakan. Alat potong tersebut dipasang pada spindel dengan memakai alat bantu berupa *arbor, collet dan drill chuck*.

Mesin frais vertikal pertama muncul sekitar tahun 1860. Pengembangan mesin frais vertikal mempunyai hubungan yang lebih dekat dengan mesin bor dibandingkan mesin frais horisontal. Prinsip dasar pada mesin bor dan mesin frais vertikal adalah bahwa semua rakitan spindel, puli dan komponen lainnya bergerak secara vertikal. Pada pertengahan tahun 1880 terjadi perubahan yang berarti dengan pengadopsian kaki dan kolom dari mesin frais horisontal sehingga meja dapat digerakkan naik-turun sesuai arah spindel. Menjelang abad 20 muncul mesin frais vertikal dengan spindel yang bisa bergerak naik-turun, dan penambahan mikrometer serta skala vernier pada mesin frais vertikal yang menyebabkan mesin ini mampu membuat lubang dengan teliti, yang dikenal dengan *jig boring*.

Perkembangan selanjutnya dari mesin frais vertikal adalah pada mekanisme kendali dan kontrolnya, yang pada tahun 1920 telah



menggunakan mekanisme servo elektronik. Sistem kontrol, tidak terbatas pada mesin frais vertikal mengalami perkembangan dengan menggunakan kontrol pergerakan oleh komputer yang dikenal dengan CNC (*Computer Numerical Control*).

## II.2. Mesin CNC DMC 63V

Mesin CNC DMC 63V adalah mesin frais vertikal dengan penggerak otomatis yang dikontrol oleh seperangkat alat elektronik melalui program komputer yang menggunakan bahasa numerik dalam bentuk kode atau perintah. Kontrol dari mesin DMC 63V menggunakan TNC 430. Mesin CNC ini termasuk mesin dengan kapasitas besar yang mampu digunakan untuk proses *milling* yang meliputi *surface milling, circular milling, helical milling, hobbing, profile milling, form milling* dan juga untuk proses *drilling* dan *boring* yang meliputi *spot facing, drilling dan boring, tapping and threading, profile drilling, serta drilling of non-cylindrical holes*. Mesin CNC ini juga dilengkapi dengan *tool magazine* yang mampu menyimpan 24 *arbor, drill chuck* maupun *collet*, hal ini mempermudah proses permesinan karena sudah tersedia 24 macam alat potong untuk mengerjakan berbagai bentuk benda kerja.

Adapun spesifikasi dari mesin ini antara lain :

Langkah pergerakan sumbu :

Sumbu X (X axis travel) : 630 mm

Sumbu Y (Y axis travel) : 500 mm

Sumbu Z (Z axis travel) : 500 mm

Meja kerja :

Dimensi : 800 mm x 500 mm

Beban maksimum : 500 kg

Ketinggian maksimum : 240 mm (tergantung panjang alat potong)

Spindel :

Putaran spindel maksimum : 10.000 rpm

Putaran spindel pada diameter maksimum : 6.500 rpm

Diameter maksimum alat potong : 140 mm (jika dipasang pada  
*tool magazine*)

Power mesin :

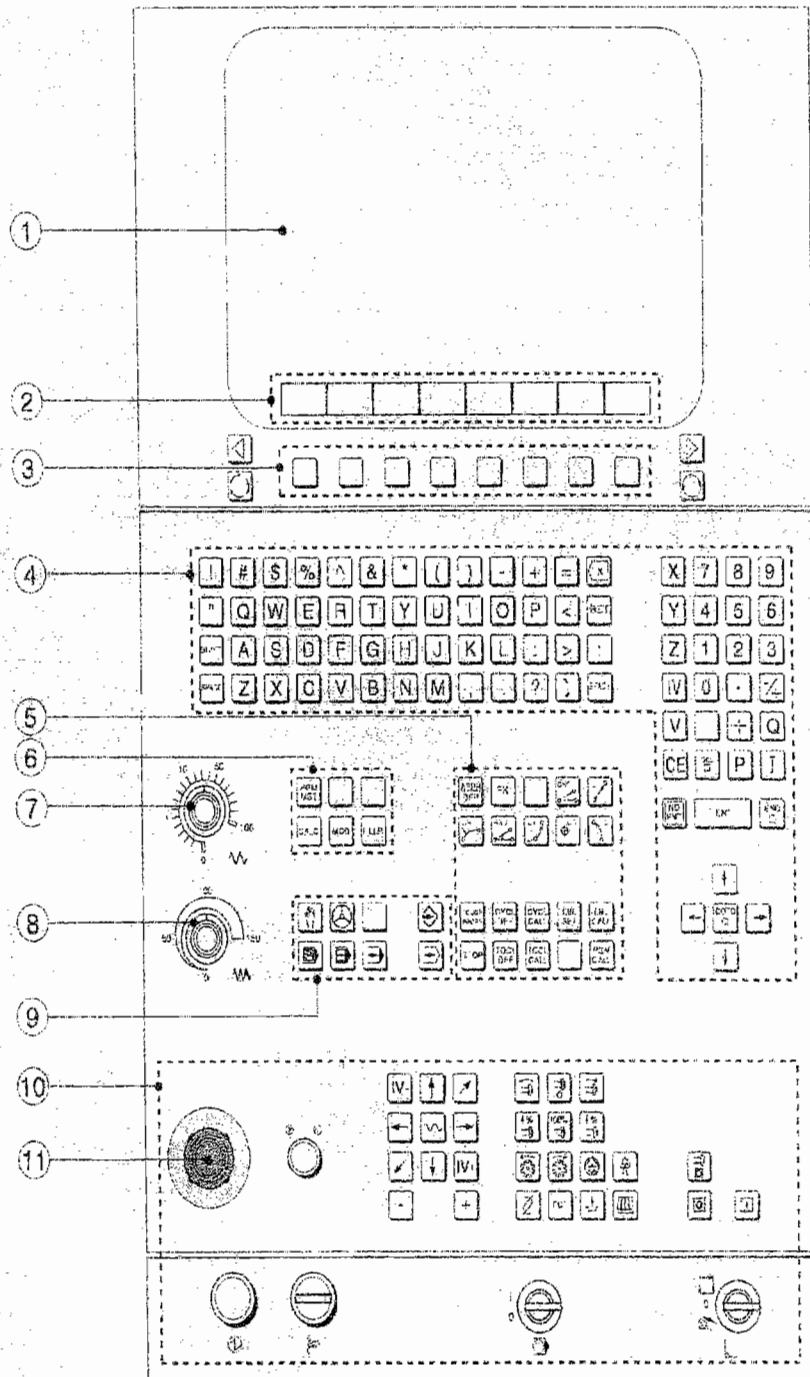
Daya motor : 17,5 HP

Tegangan : 400 Volt

Arus motor : 45 A

Frekuensi motor : 50/60 Hz

# Control console



Gambar 1. panel kontrol mesin

Keterangan gambar :

1. Monitor.
2. Display tombol fungsi.
3. tombol-tombol fungsi.
4. tombol-tombol input, blok *cursor*.
5. tombol-tombol pemrograman, data alat potong.
6. Manajemen program/file, fungsi TNC.
7. Potensio *feedrate*.
8. Potensio gerakan cepat/rapid.
9. Mode-mode pengoperasian.
10. Kontrol panel mesin.
11. Tombol *emergency stop*.

Mesin CNC DMC 63V dapat dioperasikan melalui 2 cara pengoperasian, yaitu :

1. Pengoperasian secara manual

Mesin CNC DMC 63V dioperasikan secara manual sama seperti pengoperasian mesin konvensional, dengan membaca pergerakan dari sumbu-sumbu mesin melalui layar monitor. Hal ini menuntut keahlian dari operator mesin untuk memahami gambar kerja dengan baik untuk menentukan gerakan dari alat potong agar hasil benda kerja sesuai yang diinginkan.

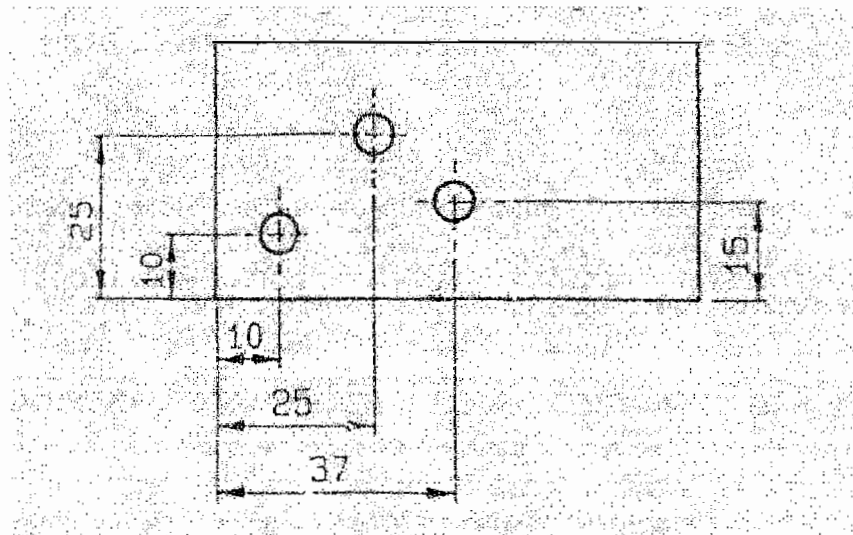
2. Pengoperasian dengan pemrograman CNC

Pengoperasian mesin CNC 63V dengan memasukkan perintah sistem komputer atau dengan bahasa yang dimengerti oleh mesin, yang disebut bahasa pemrograman. Bahasa pemrograman pada mesin ini bisa menggunakan bahasa pemrograman ISO, disimpan dengan tipe file *nama.I* dan juga bahasa pemrograman HEIDENHAIN, disimpan dengan tipe file *nama.H*. Ketelitian dalam pembuatan bahasa

pemrograman sangat dibutuhkan agar mesin dapat berjalan sesuai dengan gerakan yang diinginkan dan didapat hasil benda kerja yang sesuai dengan bentuk, ukuran, dan kualitas permukaan yang baik. Dalam membuat program ada 2 macam sistem koordinat kartesian yang digunakan, yaitu :

1. Sistem koordinat kartesian absolut

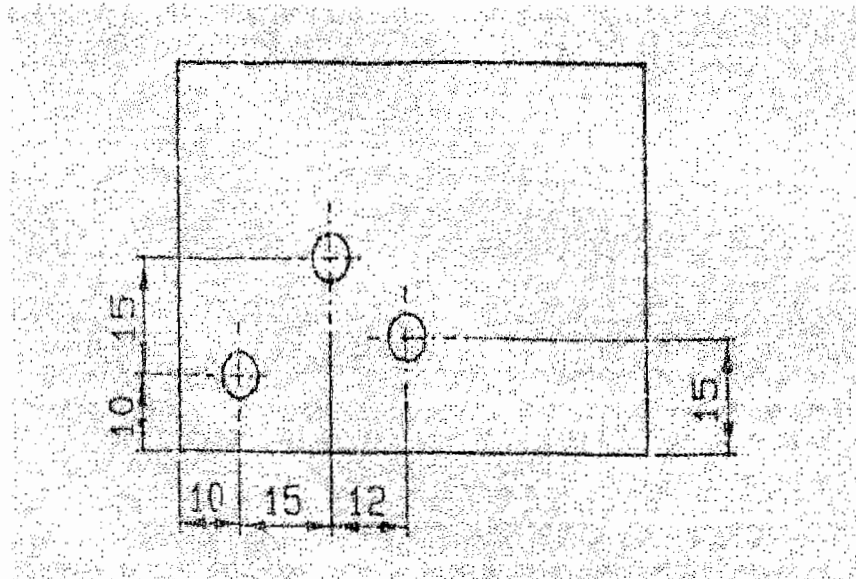
Sistem koordinat kartesian absolut adalah sistem pengukuran yang menggunakan satu titik referensi yang tetap, yang digunakan sebagai titik acuan untuk mengukur titik-titik selanjutnya.



Gambar 2. Sistem koordinat kartesian absolut

## 2. Sistem koordinat kartesian inkremental

Sistem koordinat kartesian inkremental adalah sistem pengukuran dimana posisi terakhir dipakai sebagai titik referensi untuk titik selanjutnya.



Gambar 3. Sistem koordinat kartesian inkremental

Di bawah ini ditunjukkan format program untuk mesin CNC DMC 63V dengan bahasa pemrograman HEIDENHAIN.

**N L/FK/CHF/RND/C/CC/CR/CT X Y Z R F M**

Keterangan :

N : Nomor blok.

L : Gerakan garis lurus.

FK : Gerakan bebas, tanpa diketahui koordinat yang dituju.

CHF : Chamfer, antara dua garis lurus.

RND : Lingkaran pada sudut.

C : Bagian dari program gerak melingkar.

CC : Center dari gerakan melingkar atau kutub untuk koordinat polar.

CR : Gerakan melingkar dengan radius yang diketahui.

CT : Gerakan melingkar dengan pertemuan tangensial.

X : Gerakan arah koordinat sumbu X, dalam satuan mm.

Y : Gerakan arah koordinat sumbu Y, dalam satuan mm.

Z : Gerakan arah koordinat sumbu Z, dalam satuan mm.

R : Kompensasi radius *cutter*, R0 bila tanpa kompensasi radius, RL bila kompensasi radius kiri, dan RR bila kompensasi radius kanan.

F : Kecepatan gerak pemakanan (*feedrate*), dalam satuan mm/menit.

M : Fungsi tambahan (*Miscellaneous function*).

### II.3. Proses Pemotongan Logam.

Proses pemotongan logam di mesin frais vertikal menggunakan berbagai macam jenis dan material alat potong disesuaikan dengan material yang akan dikerjakan dan bentuk yang diinginkan dari benda kerja. Jenis-jenis alat potong yang biasa digunakan pada mesin frais vertikal antara lain :

#### 1. *End Mill Cutter HSS*

Jenis alat potong ini paling sering digunakan pada pengerjaan benda kerja di mesin frais vertikal. Sisi potong dari *End Mill cutter* terdapat pada ujungnya yang digunakan untuk proses pemotongan muka (*face cutting*) dan pada bagian sisi *cutter* untuk proses pemotongan

samping (*side cutting*). Alur yang terdapat pada *cutter* ini ada 2 macam, alur kiri yang proses pemotongan terjadi jika *cutter* diputar searah jarum jam (*clockwise*) dan alur kanan yang proses pemotongan terjadi jika *cutter* diputar berlawanan arah jarum jam (*counter-clockwise*).

*Cutter roughing* pada bagian sisinya terdapat gerigi, digunakan untuk proses pemotongan awal (*roughing*) dengan beban yang lebih besar. *Cutter finishing* pada sisinya tidak terdapat gerigi, digunakan untuk proses pemotongan akhir (*finishing*) dengan tebal pemakanan yang lebih kecil untuk menghasilkan permukaan yang lebih halus.

2. Jenis *center cutting cutter* bisa digunakan untuk membuat lubang tanpa harus ada lubang awal terlebih dahulu, sedangkan jenis yang lain yaitu yang mempunyai lubang pada ujung *cutter* tidak bisa digunakan untuk membuat lubang tanpa adanya lubang awal (*pre drill*).

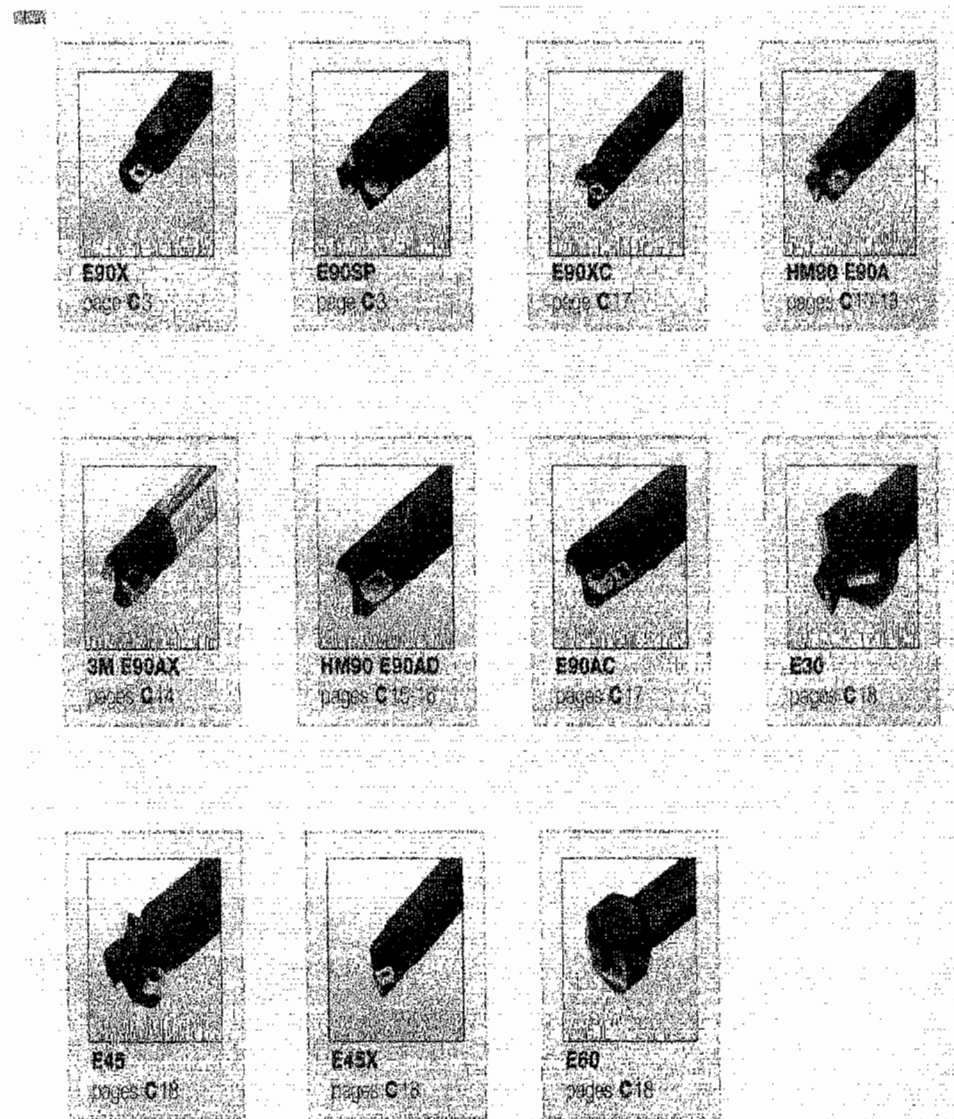
Untuk memperbaiki kemampuan *End Mill Cutter HSS*, khususnya untuk mengurangi keausan akibat pengerjaan material yang mengikis alat potong maka digunakan *end mill cutter* yang terbuat dari *carbide*. Namun *cutter* jenis ini getas karena kekerasannya yang tinggi, sehingga lebih sering digunakan *End Mill Cutter HSS*.

### 3. *End Mill Inserted Tip*

Keuntungan utama *inserted tip cutter* adalah kemampuan memproses semua jenis material dengan berbagai macam bentuk *cutter* dan tidak memerlukan pengasahan. Dimensi dan geometri dari mata potong (*tip*) bermacam-macam tergantung jenis material yang akan



dikerjakan baik baja, besi tuang, alumunium, ataupun material jenis lain. Bentuk dari *End Mill Inserted Tip* juga bervariasi seperti halnya bentuk *End Mill Cutter HSS*. Beberapa bentuk *End Mill Inserted Tip* seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Macam-macam bentuk *end mill insert tip*

Pemilihan penggunaan jenis *cutter* (*HSS*, *carbide* atau *inserted tip*) dalam proses produksi mempunyai peranan penting dalam penentuan biaya produksi dan harga suatu produk. Kemampuan dan sifat masing-masing bahan *cutter* (*HSS*, *carbide* atau *inserted tip*), material benda kerja dan tuntutan kualitas permukaan maupun fungsional suatu produk adalah hal yang saling berkaitan. Suatu material bisa disebut material alat potong apabila memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. *Toughness* (ulet). Agar tidak terjadi kepatahan maka material alat potong harus mempunyai sifat ulet, hal ini merupakan perpaduan antara kekuatan dan kemampuan mulur material.
2. *Hot Hardness* (kemampuan material mempertahankan kekerasannya pada suhu yang tinggi). Diperlukan apabila proses pengerjaan berlangsung pada suhu yang tinggi.
3. *Wear resistance* (keawetan). Semua material alat potong harus mempunyai sifat tahan terhadap keausan akibat gesekan terhadap benda kerja saat proses permesinan berlangsung.
4. Koefisien gesek rendah. Agar saat bersinggungan dengan material yang diproses tidak terjadi gesekan yang besar, maka material alat potong harus mempunyai nilai koefisien gesek yang rendah.

Material alat potong sangat beraneka-ragam dan mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing. Berikut ini adalah penjelasan dari material alat potong yang umum digunakan pada proses pengerjaan logam :

1. *HSS (High Speed Steel)*

Material ini lebih keras dibandingkan *tool steel*, mampu digunakan sampai temperatur pengerjaan yang tinggi sampai 1100° F. Dapat dioperasikan pada kecepatan potong dua kali melebihi kecepatan potong *carbon steel* dengan umur pakai yang sama, sehingga material ini dinamakan baja karbon kecepatan tinggi (*High Speed Steel*). Pada *HSS* juga ditambahkan bahan-bahan lain untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu guna menaikkan kemampuannya. Fungsi bahan tambahan dalam *HSS* antara lain :

- Molybden dan Tungsten, untuk menambah *hot hardness* dan memperbaiki ketahanan terhadap abrasi melalui pembentukan karbide-karbide keras di dalam *HSS*.
- Chromium, untuk menambah kemampuan pengerasan dalam proses perlakuan panas (*heat treatment*), menambah ketahanan terhadap korosi, dan memperbaiki ketahanan terhadap abrasi melalui pembentukan karbide-karbide keras di dalam *HSS*.
- Vanadium, untuk menambah keawetan dan memperlambat pengembangan butiran untuk sifat liat yang baik.

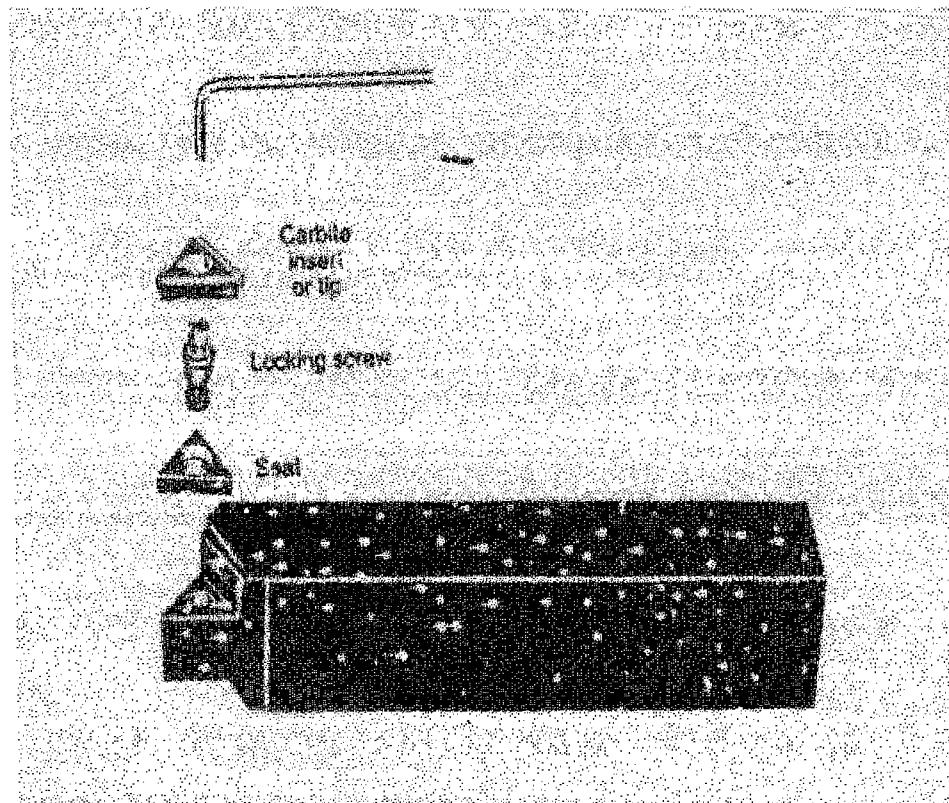
- Carbon, menyediakan karbon yang diperlukan untuk pembentukan karbide dalam pencampuran elemen-elemen guna meningkatkan keawetan dan sebagai elemen utama pada proses pengerasan baja.
- Cobalt, untuk menambah *hot hardness*.

*HSS* sangat tepat digunakan dalam pembuatan alat potong yang kompleks seperti bor, tap, dan *milling cutter*. Peralatan yang kompleks ini jauh lebih murah dan mudah pembuatannya jika memakai bahan *HSS* dibandingkan dengan material lain. Alat potong tersebut dapat diperlakukan panas sehingga kekerasan ujung potongnya sangat baik sementara di bagian dalamnya tetap ulet. *Milling cutter HSS* lebih ulet dibandingkan *milling cutter cemented carbide*.

## 2. Carbide

Carbide adalah campuran logam non ferro, disebut juga carbide sinter (cermented) karena dibuat dengan proses metalurgi bubuk (*powder metallurgy*). Material ini dapat digunakan dengan kecepatan potong empat sampai lima kali dibandingkan kecepatan potong *carbon steel* (>300 m/menit). Model terakhir dari material jenis ini mengandung banyak carbide yang diikat dengan cobalt. Material alat potong ini lebih keras, secara kimia lebih stabil, mempunyai *hot hardness* yang lebih baik, kekakuan yang lebih tinggi, gesekan kecil dan kecepatan potong yang lebih besar dari *HSS*. Akan tetapi material ini lebih rapuh dan lebih getas.

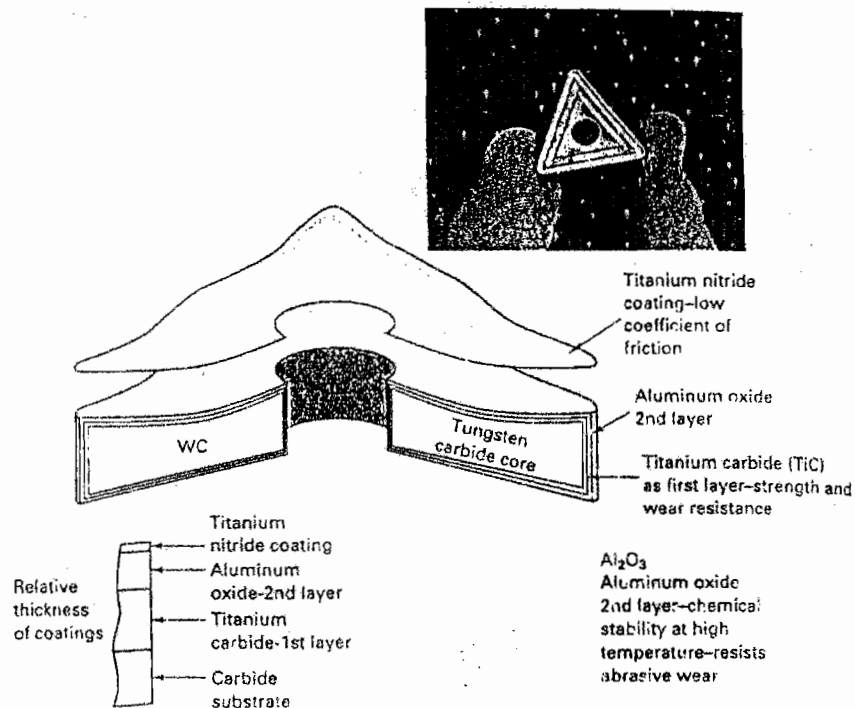
Material *cemented carbide* yang berasal dari TiC telah dikembangkan untuk perangkat industri otomatis dengan Ni dan Mo sebagai pengikat. *Cemented carbide* dapat disisipkan dan tersedia dalam berbagai macam bentuk; persegi panjang, segitiga, intan, lingkaran dan juga bentuk ulir. Pencekaman material ini pada pegangan dapat dilakukan dengan dilas kuningan atau dijepit secara mekanik pada ujung alat potong.



Gambar 5. Penjepitan carbide

### 3. *Coated Carbide*

Alat potong yang dilapis (*coated tools*) telah umum digunakan dalam proses permesinan karena dengan proses pelapisan dapat meningkatkan umur pakai alat potong hingga dua sampai tiga kali lipat. Untuk alat potong, persyaratan bahan pada permukaan adalah tahan terhadap abrasi, keras dan stabil secara kimia untuk mencegah reaksi kimia antara alat potong dan material yang dikerjakan saat proses pemotongan. Sebuah lapisan yang tipis dan keras dari TiC, TiN atau Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memenuhi persyaratan ini. Bahan pelapis harus berasal dari butiran yang baik, bebas dari pengikat dan tidak berpori. Bahan pelapis secara metalurgi direkatkan pada lapisan dibawahnya. Lapisan yang bertingkat digunakan untuk menyesuaikan sifat dari pelapis dan inti dari alat potong. Bahan pelapis harus cukup tebal untuk memperpanjang umur pakai alat potong, tetapi harus cukup tipis untuk mencegah kerapuhan. Titanium carbide digunakan sebagai material dasar yang melapisi inti alat potong untuk kekuatan dan keawetan. Lapisan kedua adalah alumunium oksid yang secara kimia stabil pada suhu tinggi dan tahan terhadap pemakaian yang bersifat abrasif. Lapisan ketiga adalah titanium nitride yang tipis untuk memberikan koefisien gesek yang lebih kecil dan untuk mengurangi pembentukan bekas keausan. Susunan lapisan-lapisan ini dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Lapisan coated carbide.

Alat potong berlapis ini tahan terhadap keausan dua sampai tiga kali pemakaiannya dibandingkan dengan alat potong yang tidak dilapisi.

#### II.4. Kecepatan potong, putaran, *feedrate*, *depth of cut* dalam pemotongan logam

Pemotongan logam berarti menghilangkan sebagian logam guna menghasilkan bentuk yang diinginkan dengan menggunakan berbagai alat ataupun mesin perkakas.

Setiap material alat potong mempunyai kemampuan yang berbeda saat dipakai untuk proses permesinan. Kecepatan potong adalah kecepatan

dimana sebuah titik pada alat potong melewati sebuah titik pada benda kerja dalam waktu yang ditentukan.

Apabila nilai kecepatan potong telah diketahui, dapat ditentukan putaran (*rpm*) alat potong yang digunakan dengan Persamaan 1. sebagai berikut :<sup>(1)</sup>

$$n = \frac{1000 \times Cs}{\pi \times D} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan :

n : putaran alat potong (*rpm*)

Cs, V : kecepatan potong (m/menit)

D : diameter alat potong (mm)

Dari rumus diatas maka dapat dilihat semakin kecil diameter alat potong yang digunakan maka putarannya akan semakin tinggi, untuk kecepatan potong yang sama. Setiap material yang akan dikerjakan dan setiap jenis material alat potong mempunyai nilai kecepatan potong yang mempunyai kisaran tertentu, untuk itu di dalam menentukan besarnya kecepatan potong yang tepat maka harus mempertimbangkan :

#### 1. Material alat potong

Kecepatan potong umumnya diberikan untuk alat potong dengan material *HSS*. Nilai yang dianjurkan ini adalah dua kali lipat untuk alat potong dengan material baja karbon dan seperempat untuk alat potong carbide.

#### 2. Jenis material yang akan dikerjakan

---

<sup>1</sup> *All about Machine Tools, hal. 130*



Setiap material yang akan dikerjakan mempunyai nilai kecepatan potong yang besarnya berbeda-beda. Untuk itu pengambilan nilai kecepatan potong harus disesuaikan dengan jenis material yang akan dikerjakan.

3. Jenis penyelesaian yang diperlukan

Penyelesaian paling baik diperoleh dengan kedalaman pemotongan yang paling kecil dan kecepatan potong yang paling tinggi. Secara umum, kecepatan potong untuk proses *finishing* harus 20% lebih tinggi daripada kecepatan potong untuk proses *roughing*.

4. Umur alat potong

Pemotongan yang berat menimbulkan panas yang tinggi sehingga diambil kecepatan potong lebih rendah, agar alat potong lebih awet.

5. Penggunaan media pendingin.

Untuk mengurangi panas pada penggunaan kecepatan potong yang tinggi maka diperlukan cairan pendingin. Media pendingin yang digunakan seperti minyak larutan, minyak tersulfurasi atau minyak mineral. Pada besi tuang sering dikerjakan tanpa media pendingin karena aksi pelumasan grafit. Kerosin sering digunakan sebagai media pendingin untuk material aluminium.

Besarnya kecepatan potong untuk tiap material dan alat potong dapat dilihat pada Tabel 2.1. sebagai berikut :

Tabel 2.1. Tabel kecepatan potong

Work Material	Tool Material						
	High-Speed Steel	Uncoated Carbide	Coated Carbide	Cermet	Ceramic	CBN	Diamond
Aluminum							
Low silicon	300-800	700-1400					1000-5000
High silicon							500-2500
Bronze	65-130	500-700					1000-3000
Gray cast iron	50-80	250-450	350-500	400-1000	700-2000	700-1500	
Chilled cast iron					250-600	250-500	
Low-carbon steel	60-100	250-350	500-900	500-1300	1000-2500		
Alloy steel	40-70		350-600	300-1000	500-1500	250-600	
Tool steel	40-70		250-600		500-1200	150-300	
Stainless steel							
200 and 300 series	30-80	100-250	400-650		300-1100		
400 and 500 series			250-350		400-1200		
Nonmetallies		400-600					400-2000
Superalloys		70-100	90-150		500-1000	300-800	

Dalam menentukan besarnya *feedrate* yang akan digunakan pada proses pengerjaan, agar kecepatan jalannya eretan dapat sesuai dengan yang diinginkan merupakan salah satu persoalan yang banyak kurang dimengerti dalam pelaksanaannya. Ada banyak kondisi yang mendukung dalam kaitannya untuk menentukan besarnya *feedrate*. Beberapa faktor penting yang perlu diperhatikan dalam penghitungan pemakaian *feedrate* antara lain kedalaman dan lebar pemotongan, jumlah mata potong, proses pemotongan yang akan dilakukan; apakah proses *roughing* atau *finishing*, banyaknya permukaan benda kerja yang akan dihilangkan dan hasil akhir permukaan yang diinginkan.

Hubungan linier antara kecepatan potong dan *feedrate* menghasilkan kecepatan potong tinggi dan *feedrate* tinggi (*High Speed Machining*). *Feedrate* akan lebih tinggi bila diameter alat potong semakin kecil, asalkan *feed* per gigi dan jumlah mata potongnya sama. Untuk mengimbangi diameter yang lebih kecil, *rpm* harus dinaikkan untuk menjaga agar kecepatan potong tetap sama. Persamaan untuk menghitung besarnya *feedrate* adalah sebagai berikut :<sup>(2)</sup>

$$f = f_z \times n \times z_n \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

f : *feedrate* (mm/menit)

$f_z$  : *feed* per gigi (mm/gigi)

n : putaran alat potong (rpm)

$z_n$  : jumlah gigi/mata potong

Kedalaman pemotongan (*depth of cut*) adalah besarnya/tebalnya material yang akan dihilangkan saat proses pemotongan logam, terdapat dua macam proses yang biasa dilakukan yaitu proses pengerjaan awal (*roughing*), untuk kedalaman pemotongan yang besar dan permukaan yang dihasilkan tidak harus halus; dan proses pengerjaan akhir (*finishing*), untuk memperoleh kualitas permukaan yang relatif lebih halus sehingga kedalaman pemotongannya juga relatif lebih kecil dibanding pada proses *roughing*.

---

<sup>2</sup> *High Speed Machining, Sandvik, hal.3*

## II.5. Kekasaran permukaan

Kekasaran permukaan dari bagian-bagian mesin dan bekas pengerjaannya merupakan faktor yang sangat penting untuk menjamin kualitas bagian-bagian, misalnya suaian atau ketahanan, maupun tampak dari bagian-bagian. Ada beberapa cara untuk menyatakan kekasaran permukaan, terutama sekali penyimpangan rata-rata aritmatik  $R_a$  dari garis rata-rata profil, sepuluh titik ketinggian  $R_z$  dari ketidakrataan, dan ketinggian maksimum  $R_{max}$  dari ketidakrataan. Penjelasan lebih lanjut akan dijabarkan sebagai berikut :

### II.5.1. Penyimpangan rata-rata aritmatik $R_a$ dari rata-rata garis profil.

Penyimpangan rata-rata aritmatik adalah harga rata-rata dari ordinat-ordinat profil efektif garis rata-ratanya. Profil efektif berarti garis bentuk/kontur dari potongan permukaan efektif oleh sebuah bidang yang ditentukan secara konvensional, terhadap permukaan geometris ideal seperti terlihat pada Gambar 7.

Ordinat-ordinat ( $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ ) dijumlahkan tanpa memperhitungkan tandanya<sup>(3)</sup>

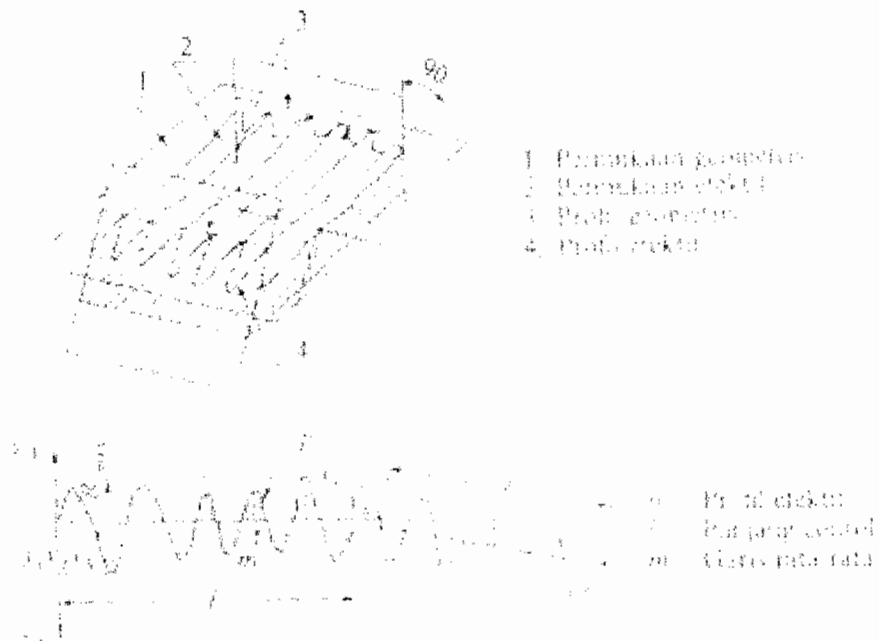
$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx \dots\dots\dots (3)$$

kira-kira

$$R_a = \frac{1}{n} \sum^n |y| \dots\dots\dots (3)$$

<sup>3</sup> Menggambar mesin menurut standar ISO, hal. 317

Dimana  $l$  adalah panjang contoh yang telah ditentukan, yaitu panjang dari profil efektif yang diperlukan untuk kekasaran permukaan dari permukaan benda kerja yang diteliti.



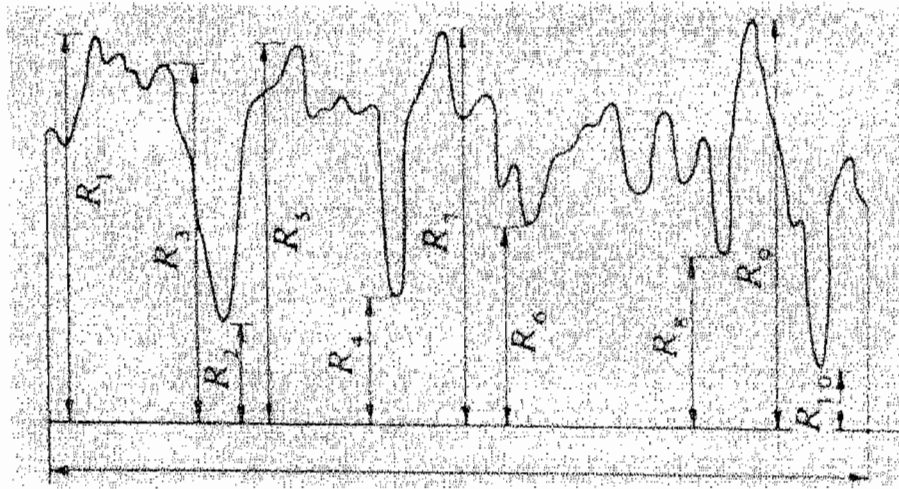
Gambar 7. Penyimpangan rata-rata aritmetik  $R_a$  dari garis rata-rata profil.

II.5.2. Ketidakrataan ketinggian sepuluh titik  $R_z$ .

Ketidakrataan ketinggian sepuluh titik  $R_z$  adalah jarak rata-rata antara lima puncak tertinggi dan lima lembah terdalam antara panjang contoh, yang diukur dari garis sejajar dengan garis rata-rata, dan tidak memotong profil, seperti terlihat pada Gambar 8., dan jika dimasukkan ke dalam persamaan adalah sebagai berikut :<sup>4</sup>

$$R_z = \frac{(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{5} \dots\dots\dots (4)$$

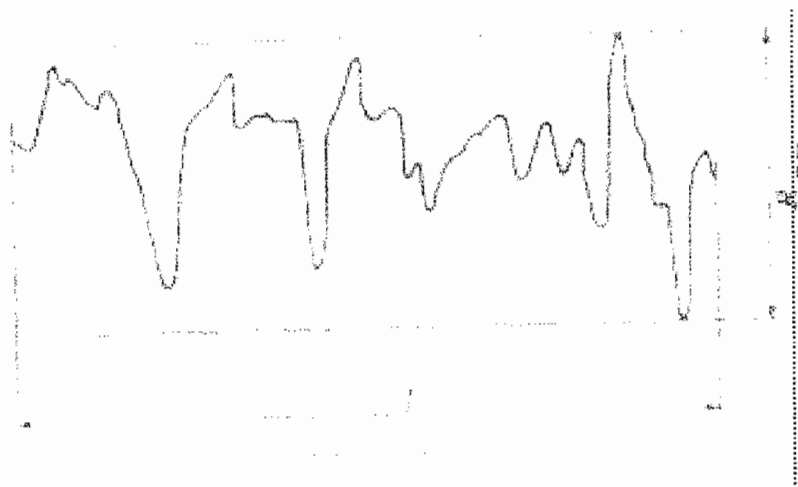
<sup>4</sup> *ibid hal. 318*



Gambar 8. Ketinggian sepuluh titik  $R_a$  dari ketidakrataan

### II.5.3. Ketidakrataan ketinggian maksimum $R_{max}$

Ketidakrataan ketinggian maksimum  $R_{max}$  adalah jarak antara dua garis sejajar dengan garis rata-rata, dan menyinggung profil pada titik tertinggi dan terendah, antara panjang contoh, seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. tinggi maksimum  $R_a$  dari ketidakrataan



## II.6. Baja karbon rendah (*mild steel*)

Baja karbon rendah adalah baja yang mempunyai kandungan karbon <0,2%. Logam ini merupakan jenis baja yang biasa digunakan untuk material benda kerja yang tidak memerlukan kekerasan yang tinggi, namun masih memenuhi tuntutan kekuatan untuk konstruksi-konstruksi atau bagian-bagian tertentu dari suatu alat. Baja karbon rendah tidak bisa dikerjakan dengan perlakuan panas (*heat treatment*) untuk meningkatkan kekerasannya. Baja karbon rendah mudah dijumpai di pasaran dan harganya pun relatif murah dibandingkan material lain. Sebelum melakukan proses permesinan, terlebih dahulu penulis melakukan pengujian kekerasan terhadap material benda uji. Pengujian kekerasan menggunakan alat uji kekerasan (*hardness tester*) di Laboratorium Bahan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma, pengujian dilakukan pada 9 (sembilan) titik pada material benda uji lalu diambil nilai rata-ratanya, sehingga didapatkan hasil sebagai berikut :

Benda Uji	Cs (m/menit)	Kekerasan
1	160	120
2	145	123
3	130	120
4	115	124
5	100	120
6	85	127
7	70	126

## **II.7. Hipotesa**

Dari landasan teori yang ada, pemilihan kecepatan potong yang sesuai dan kedalaman pemotongan yang sesuai akan sangat berpengaruh terhadap kualitas permukaan benda kerja yang dihasilkan. Penulis mempunyai dugaan bahwa semakin tinggi nilai kecepatan potong yang diambil, pada penelitian yang dilakukan adalah sebesar 160 m/menit, maka nilai kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan akan semakin rendah/semakin halus, semakin kecil kedalaman pemotongan, pada penelitian yang dilakukan adalah sebesar 0,5 mm, maka nilai kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan akan semakin rendah/semakin halus.



## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### III.1. Bahan Penelitian

Pada penelitian ini, benda uji yang akan dikerjakan ada empat belas buah dengan proses pengerjaan yang berbeda. Material bahan penelitian adalah baja karbon rendah (*mild steel*) dengan ukuran blok panjang dan lebarnya 44mm, dengan tebal 34 mm (□ 44x44x34mm).

#### III.2. Peralatan Penelitian

1. Mesin CNC DMC 63V

Pada penelitian ini benda kerja diproses dengan menggunakan mesin CNC DMC 63V, mesin ini termasuk mesin yang digunakan untuk produksi (*production unit*) dengan daya motor yang relatif besar.

2. Alat potong

Proses pengerjaan benda uji menggunakan alat potong jenis *inserted tip carbide* dengan diameter *shank* 16mm dan mempunyai 2 mata potong. Kecepatan potong yang tertera pada *inserted tip carbide* untuk pengerjaan material *steel* sebesar 70-160 m/menit dan *feed* per gigi sebesar 0,07-0,2 mm/gigi.

3. Alat uji kekasaran (*Roughness tester*)

Untuk mengetahui tingkat kekasaran permukaan hasil pengerjaan pada benda uji, digunakan alat uji kekasaran di Laboratorium Ilmu Bahan Fakultas Teknik UGM .

#### 4. Alat-alat bantu

Alat-alat bantu yang digunakan pada pelaksanaan penelitian antara lain :

- *centro fix*, untuk menentukan titik referensi sumbu X dan sumbu Y pada benda uji.
- *Z setter*, untuk mensetting ketinggian/panjang dari alat potong yang digunakan.
- *square*, untuk membantu saat pencekaman benda kerja agar tegak lurus terhadap sumbu Z/*spindle*.
- *parallel block*, untuk mengganjal benda kerja agar ketinggian permukaan benda lebih tinggi dibanding tinggi tanggem dan untuk menambah kestabilan saat pemotongan.
- *Vernier caliper*, untuk mengukur dimensi benda uji.
- palu plastik untuk membantu saat pencekaman benda kerja.

### **III.3. Pelaksanaan Penelitian**

Penelitian dilaksanakan melalui tiga tahapan. Tahapan pertama adalah tahap persiapan, meliputi persiapan penulis dengan membaca literatur-literatur yang ada dan mengumpulkan data-data untuk mendukung penelitian, menyiapkan material benda uji dibuat menjadi blok dengan ukuran 44x44x32mm, lalu proses pembuatan program dan pengecekan program di mesin. Setelah program dibuat lalu program tersebut dicek dengan menggunakan fasilitas *test run* yang ada pada mesin CNC DMC

63V, untuk mendapatkan tampilan gambar yang mendekati ukuran benda kerja asli maka pengisian nomer blok 1 dan 2 pada program harus benar. Jika ternyata bentukan yang dihasilkan dari program tersebut tidak sesuai, maka program yang dibuat bisa dirubah dengan menggunakan fasilitas *programming and editing*, jika program sudah benar maka program tersebut baru dijalankan.

Tahap kedua adalah pengambilan data, setelah pengecekan program dilakukan maka program dijalankan untuk proses pengerjaan benda uji.

Dalam pelaksanaannya, dibuat tujuh benda uji dengan menggunakan kecepatan potong dan *feedrate* yang berbeda dengan bentukan yang memungkinkan pemotongan dilakukan menggunakan lima variasi kedalaman pemotongan (*depth of cut*) yang berbeda. Benda uji pertama dikerjakan dengan menggunakan kecepatan potong 160 m/menit, putaran 3185 rpm dan feedrate 860 mm/menit. Benda uji kedua dikerjakan dengan menggunakan kecepatan potong 145 m/menit, putaran 2886 rpm dan feedrate 779 mm/menit. Benda uji ketiga dikerjakan dengan menggunakan kecepatan potong 130 m/menit, putaran 2588 rpm dan feedrate 699 mm/menit. Benda uji keempat dikerjakan dengan menggunakan kecepatan potong 115 m/menit, putaran 2289 rpm dan feedrate 618 mm/menit. Benda uji kelima dikerjakan dengan menggunakan kecepatan potong 100 m/menit, putaran 1990 rpm dan feedrate 537 mm/menit. Benda uji keenam dikerjakan dengan menggunakan kecepatan potong 85 m/menit, putaran 1692 rpm dan feedrate 457 mm/menit. Benda uji ketujuh dikerjakan dengan

menggunakan kecepatan potong 70 m/menit, putaran 1393 rpm dan feedrate 376 mm/menit. Pengambilan besarnya nilai kecepatan potong berdasarkan jenis alat potong yang digunakan yaitu menggunakan alat potong jenis *inserted tip carbide* untuk pemotongan material *mild steel* yaitu sebesar 70 – 160 m/min. Besarnya nilai *feed* per gigi ( $f_z$ ) diambil nilai tengah dari yang tertera pada data alat potong, sebesar 0,135 mm/gigi. Untuk meningkatkan ketelitian penelitian ini maka jumlah benda uji ditambah satu lagi untuk setiap tingkat kecepatan potong. Sehingga nilai yang diambil dalam pengukuran hasil pengerjaan adalah nilai rata-rata dari kedua benda uji tersebut.

Program yang digunakan dalam pengerjaan benda uji adalah program dengan bahasa pemrograman Heidenhain, untuk kontrol mesin Heidenhain TNC 426.

Program yang digunakan dengan menggunakan kecepatan potong  $C_s = 70$  m/menit adalah sebagai berikut :

```
0 BEGIN PGM STEP MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-30
2 BLK FORM 0.2 X+40 Y+40 Z+0
3 TOOL CALL 10 Z S1393
4 L X+0 Y+0 Z+200 R0 F MAX M3 M8
5 L X+35.2 Y+60 RL F2000
6 L Z-2.5
7 L Y+0 RL F376
```

```
8 L Z-2 F2000
9 L X+26.4 RL F376
10 L Y+40 RR
11 L Z-1.5 F2000
12 L X+17.6 RR F376
13 L Y+0 RL
14 L Z-1 F2000
15 L X+8.8 RL F376
16 L Y+40 RR
17 L Z-0.5 F2000
18 L X+0 RR F376
19 L Y-10 RL
20 L Z+200 R0 F MAX M30
21 END PGM STEP1 MM
```

Penjelasan dari program di atas adalah sebagai berikut :

Nomor blok 0 : awalan program.

Nomor blok 1-2 : ukuran benda kerja bayangan untuk animasi pengerjaan saat dilakukan *test run*.

Nomor blok 3 : pemanggilan alat yang digunakan dan putarannya = 1393 rpm, spindel yang berputar terdapat pada sumbu z.

Nomor blok 4 : pergerakan *cutter* ke titik X,Y = 0 dan ketinggian Z = 200 dengan *feedrate* maksimum, putaran spindel searah jarum

jam, memakai pendingin, tanpa memakai kompensasi *cutter*.

- Nomor blok 5 : pergerakan *cutter* ke titik  $X = 35,2$  dan  $Y = 60$ , memakai kompensasi *cutter* kiri, kecepatan pergerakan dengan *feedrate* = 2000 mm/menit.
- Nomor blok 6 : pergerakan *cutter* turun menuju titik  $Z = -2,5$  dengan memakai nilai *feedrate* sama dengan blok sebelumnya, karena pada blok ini tidak dituliskan besarnya *feedrate*.
- Nomor blok 7 : pergerakan *cutter* menuju titik  $Y = 0$ , memakai kompensasi *cutter* kiri, kecepatan pergeseran dengan menggunakan *feedrate* = 376 mm/menit.
- Nomor blok 8 : pergerakan *cutter* naik menuju  $Z = -2$ , dengan memakai nilai *feedrate* = 2000mm/menit.
- Nomor blok 9 : pergerakan *cutter* menuju titik  $X = 26,4$  memakai kompensasi *cutter* kiri, dengan memakai nilai *feedrate* = 376 mm/menit.
- Nomor blok 10 : pergerakan *cutter* menuju titik  $Y = 40$ , memakai kompensasi *cutter* kanan, dengan memakai nilai *feedrate* sama dengan blok sebelumnya, karena pada blok ini tidak dituliskan besarnya *feedrate*.
- Nomor blok 11 : pergerakan *cutter* naik menuju  $Z = -1,5$  dengan memakai nilai *feedrate* = 2000mm/menit.

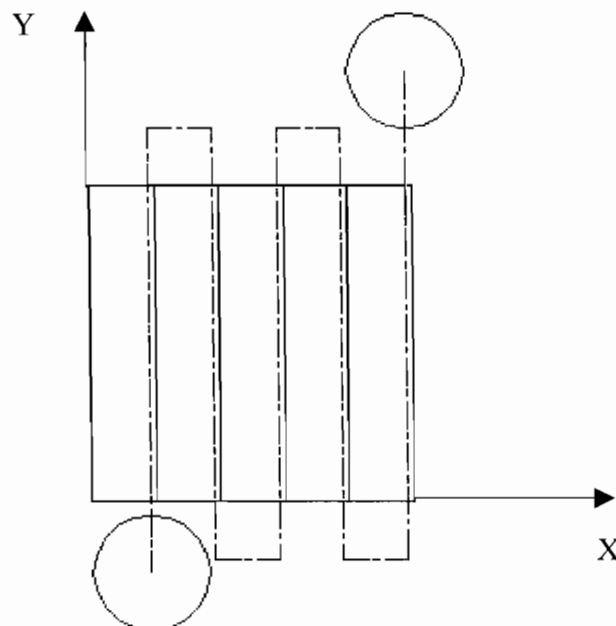
- Nomor blok 12 : pergerakan *cutter* menuju titik  $X = 17,6$  memakai kompensasi *cutter* kanan, dengan memakai *feedrate* = 376 mm/menit.
- Nomor blok 13 : pergerakan *cutter* menuju titik  $Y = 0$ , kompensasi *cutter* kiri, dengan memakai nilai *feedrate* sama dengan blok sebelumnya, karena pada blok ini tidak dituliskan besarnya *feedrate*.
- Nomor blok 14 : pergerakan *cutter* naik menuju  $Z = -1$  dengan memakai nilai *feedrate* = 2000 mm/menit.
- Nomor blok 15 : pergerakan *cutter* menuju titik  $X = 8,8$  memakai kompensasi *cutter* kiri, dengan memakai nilai *feedrate* = 376 mm/menit.
- Nomor blok 16 : pergerakan *cutter* menuju titik  $Y = 40$ , kompensasi *cutter* kanan, dengan memakai nilai *feedrate* sama dengan blok sebelumnya, karena pada blok ini tidak dituliskan besarnya *feedrate*.
- Nomor blok 17 : pergerakan *cutter* naik menuju  $Z = -0,5$ , dengan memakai nilai *feedrate* = 2000 mm/menit.
- Nomor blok 18 : pergerakan *cutter* menuju titik  $X = 0$ , kompensasi *cutter* kanan, dengan memakai nilai *feedrate* = 376 mm/menit.
- Nomor blok 19 : pergerakan *cutter* menuju titik  $Y = -10$ , kompensasi *cutter* kiri, dengan memakai nilai *feedrate* sama dengan blok

sebelumnya, karena pada blok ini tidak dituliskan besarnya *feedrate*.

Nomor blok 20 : pergerakan *cutter* naik menuju  $Z = 200$ , tanpa kompensasi kom *cutter*, dengan *feedrate* maksimum, program selesai.

Nomor blok 21 : akhiran program.

Untuk nilai kecepatan potong yang lain, besarnya putaran alat potong dan *feedrate* juga disesuaikan, sehingga program yang dibuat dan dijalankan ada tujuh buah.



Gambar 10. Gerakan alat potong (pandangan atas)

Sebelum menjalankan program, terlebih dahulu harus mempersiapkan mesin dan peralatan yang digunakan. Adapun persiapannya meliputi : men-



*setting* alat potong yang dipakai dengan menggunakan *Z setter* lalu memasukkan data alat potong tersebut pada *tool table*, mencekam benda kerja pada tanggem dengan bantuan *parallel block*, *square* serta palu plastik dan menentukan kedudukan titik-titik referensi  $X = 0$ ,  $Y = 0$  benda kerja dengan menggunakan *centro fix*. Sesudah persiapan selesai baru program yang telah di-*test run* dijalankan untuk mengerjakan benda-benda uji tersebut.

Setelah didapatkan hasil benda uji dari pengerjaan di mesin CNC DMC 63V, maka benda uji tersebut di uji kekasaran permukaannya menggunakan mesin uji kekasaran yang ada di Laboratorium Ilmu Bahan Fakultas Teknik UGM. Prinsip kerja dari mesin pengujian kekasaran ini adalah menggerakkan pin pada permukaan benda uji dengan panjang lintasan tertentu, pin tersebut akan bergetar mengikuti kekasaran yang ada pada permukaan benda uji. Lalu getaran tersebut diproses lanjut menggunakan mekanisme yang ada pada mesin dan ditampilkan hasilnya pada monitor berupa angka-angka yang menunjukkan harga tingkat kekasaran dari permukaan benda uji tersebut.

Tahap terakhir adalah pembahasan data-data yang merupakan hasil dari penelitian yang dilakukan.

#### **III.4. Kesulitan yang dihadapi**

Pada penelitian ini benda-benda uji diteliti nilai kekasaran permukaannya di mesin uji kekasaran yang ada di Laboratorium Ilmu Bahan Fakultas Teknik

UGM. Pelaksanaan pengukuran dilakukan oleh laboran, penulis hanya diajarkan cara pengujian kekasaran dengan menggunakan mesin uji kekasaran tersebut tetapi tidak diperbolehkan untuk melakukan pengukuran sendiri.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### IV.1. Hasil Penelitian

Dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan menggunakan material baja karbon rendah dengan alat potong *end mill inserted carbide*, proses pengerjaan menggunakan mesin milling CNC DMG 63V dihasilkan 14 (empat belas) benda uji dengan proses pengerjaan menggunakan 7 (tujuh) macam tingkat kecepatan potong dan masing-masing benda uji mempunyai 5 (lima) tingkat kedalaman pemotongan yang berbeda. Namun pengujian kekasaran permukaan hanya dilakukan pada 7 (tujuh) benda uji saja, yaitu diambil benda uji yang mempunyai kekasaran permukaan yang lebih rendah, akan tetapi pengukuran dilakukan di 2 (dua) tempat yang berbeda untuk meningkatkan ketelitian pengujian. Dari hasil pengujian kekasaran permukaan pada 2 (dua) tempat yang berbeda untuk setiap bahan uji tersebut lalu diambil nilai rata-rata dengan mengambil nilai tengahnya sehingga didapat hasil sebagai berikut :

**Tabel 4.1. Hasil pengukuran kekasaran permukaan dengan kedalaman pemotongan (doc) = 2,5 mm, satuan  $\mu\text{m}$**

Cs	Ra 1	Ra 2	Rz 1	Rz 2	Rmax 1	Rmax 2	Ra	Rz	Rmax
160	1,6	1,46	11,08	9,9	13,46	13,28	1,53	10,49	13,37
145	1,1	0,96	6,78	5,6	8,76	7,12	1,03	6,19	7,94
130	2,36	2,22	13,28	11,84	14,3	13,94	2,29	12,56	14,12
115	2,48	2,56	14,16	14,28	16,28	16,78	2,52	14,22	16,53
100	2,52	2,38	13,28	13,64	15,96	16,28	2,45	13,46	16,12
85	2,18	2,26	13,28	14,1	15,72	16,68	2,22	13,69	16,2
70	2,4	2,36	11,62	10,88	14,4	13,92	2,38	11,25	14,16

**Tabel 4.2. Hasil pengukuran kekasaran permukaan dengan kedalaman pemotongan (doc) = 2 mm, satuan  $\mu\text{m}$**

Cs	Ra 1	Ra 2	Rz 1	Rz 2	Rmax 1	Rmax 2	Ra	Rz	Rmax
160	1,29	0,88	8,9	8,4	10,3	8,4	1,085	8,65	9,35
145	0,4	0,46	3,42	3,46	6,98	7,6	0,43	3,44	7,29
130	1,18	1,14	6,56	6,76	7,58	7,44	1,16	6,66	7,51
115	1,4	1,48	8,06	8,34	9,7	9,72	1,44	8,2	9,71
100	1,62	1,78	8,16	9	10,18	10,02	1,7	8,58	10,1
85	1,4	1,68	7,74	8,9	9,28	10,04	1,54	8,32	9,66
70	1,88	1,96	10,76	9,76	11,9	12,4	1,92	10,26	12,15

**Tabel 4.3. Hasil pengukuran kekasaran permukaan dengan kedalaman pemotongan (doc) = 1,5 mm, satuan  $\mu\text{m}$**

Cs	Ra 1	Ra 2	Rz 1	Rz 2	Rmax 1	Rmax 2	Ra	Rz	Rmax
160	0,82	0,76	5,28	5,88	7,2	7,9	0,79	5,58	7,55
145	0,26	0,26	1,92	1,98	2,4	2,6	0,26	1,95	2,5
130	1,82	1,96	9,82	9,88	12,54	13,24	1,89	9,85	12,89
115	1,76	1,82	9,74	10,12	11,82	11,96	1,79	9,93	11,89
100	1,54	1,46	9,7	8,38	10,64	10,04	1,5	9,04	10,34
85	1,28	1,48	7,2	9,48	10,54	11,66	1,38	8,34	11,1
70	1,46	1,6	8,76	10,26	12,6	12,96	1,53	9,51	12,78

**Tabel 4.4. Hasil pengukuran kekasaran permukaan dengan kedalaman pemotongan (doc) = 1 mm, satuan  $\mu\text{m}$**

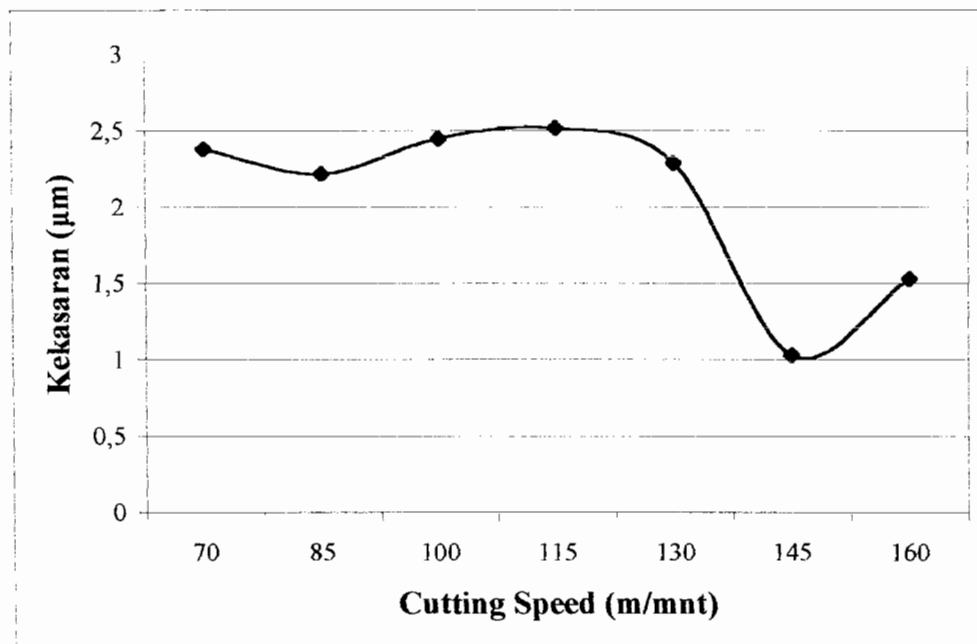
Cs	Ra 1	Ra 2	Rz 1	Rz 2	Rmax 1	Rmax 2	Ra	Rz	Rmax
160	0,64	0,66	4,36	3,94	4,74	4,16	0,65	4,15	4,45
145	0,4	0,38	6,2	7,16	8,34	8,74	0,39	6,68	8,54
130	0,74	1,04	3,7	3,68	4,66	4,88	0,89	3,69	4,77
115	1,26	1,18	6,92	6,78	8,42	8,24	1,22	6,85	8,33
100	1,46	1,34	8,82	7,32	10,46	9,64	1,4	8,07	10,05
85	1,26	1,16	7,5	7,68	8,72	8,92	1,21	7,59	8,82
70	1,56	1,44	9,32	8,96	11,48	10,56	1,5	9,14	11,02

**Tabel 4.5. Hasil pengukuran kekasaran permukaan dengan kedalaman pemotongan ( $d_{oc}$ ) = 0,5 mm, satuan  $\mu\text{m}$**

Cs	Ra 1	Ra 2	Rz 1	Rz 2	Rmax 1	Rmax 2	Ra	Rz	Rmax
160	1,12	1,12	7,24	7,22	7,9	9,58	1,12	7,23	8,74
145	0,3	0,32	2,06	2,32	2,28	3,12	0,31	2,19	2,7
130	1,14	1,22	6,9	6,98	9,62	9,88	1,18	6,94	9,75
115	1,1	1,18	6,8	6,82	8,66	8,24	1,14	6,81	8,45
100	0,96	0,84	6,3	5,94	8,56	8,28	0,9	6,12	8,42
85	1,5	1,46	7,22	7,4	8,64	8,88	1,48	7,31	8,76
70	1,16	1,18	7,32	7,68	9,92	10,64	1,17	7,5	10,28

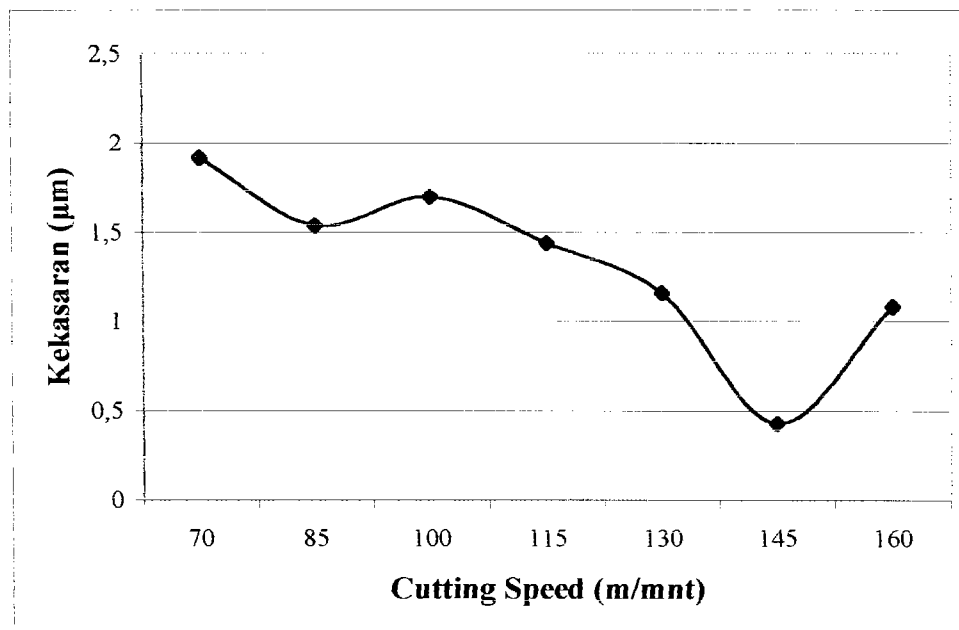
## IV.2. Pembahasan

Dari tabel kekasaran rata-rata pada Tabel 4.1. sampai dengan Tabel 4.5. pada hasil pengujian, terlihat perbedaan nilai kekasaran untuk setiap kecepatan potong dan kedalaman pemotongan yang berbeda. Untuk itu dapat dibuat grafik perbandingan kekasaran terhadap kecepatan potong untuk setiap kedalaman pemotongan yang berbeda sebagai berikut :



**Gambar 11. Grafik pengaruh kecepatan potong - kekasaran permukaan pada kedalaman pemotongan ( $d_{oc}$ ) = 2,5 mm**

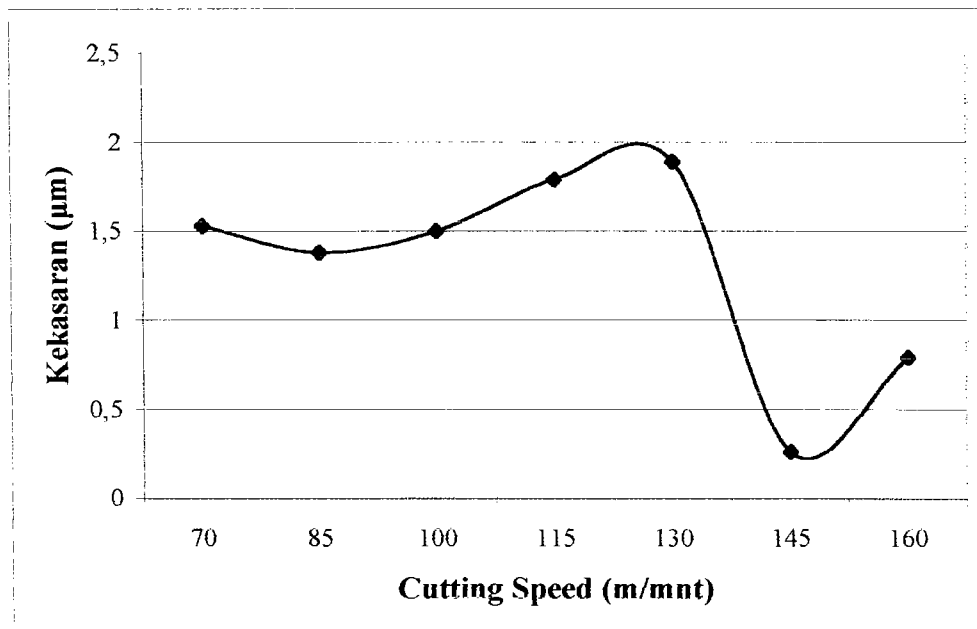
Dari grafik kecepatan potong terhadap kekasaran permukaan seperti yang terlihat pada Gambar 11, pada kedalaman pemotongan = 2,5 mm, nilai kekasaran permukaan yang paling rendah terdapat pada pemakaian kecepatan potong = 145 m/menit. Ini berarti pada kecepatan potong = 145 m/menit menghasilkan kualitas permukaan benda uji yang paling baik, jika penggunaan nilai kecepatan potong diambil lebih dari 145 m/menit maka permukaan yang dihasilkan pada benda uji akan menjadi lebih kasar, begitu juga jika penggunaan nilai kecepatan potong diambil kurang dari 145 m/menit maka permukaan yang dihasilkan pada benda uji akan menjadi lebih kasar.



**Gambar 12. Grafik pengaruh kecepatan potong - kekasaran permukaan pada kedalaman pemotongan (doc) = 2 mm**

Dari grafik kecepatan potong terhadap kekasaran permukaan seperti yang terlihat pada Gambar 12, pada kedalaman pemotongan = 2 mm, nilai kekasaran permukaan yang paling rendah terdapat pada pemakaian

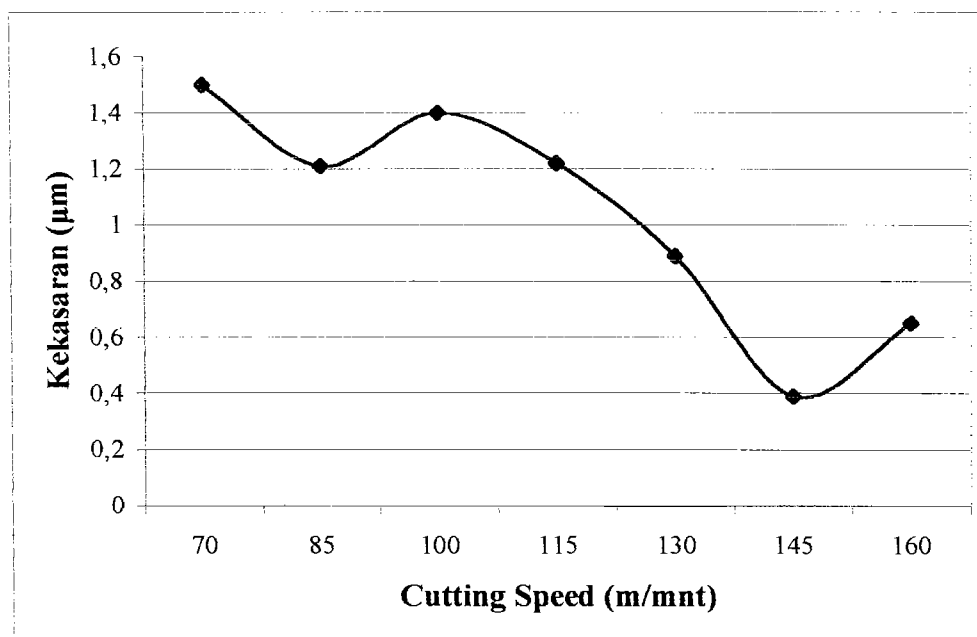
kecepatan potong = 145 m/menit. Ini berarti pada kecepatan potong = 145 m/menit menghasilkan kualitas permukaan benda uji yang paling baik, jika penggunaan nilai kecepatan potong diambil lebih dari 145 m/menit maka permukaan yang dihasilkan pada benda uji akan menjadi lebih kasar, begitu juga jika penggunaan nilai kecepatan potong diambil kurang dari 145 m/menit maka permukaan yang dihasilkan pada benda uji akan menjadi lebih kasar.



**Gambar 13. Grafik pengaruh kecepatan potong - kekasaran permukaan pada kedalaman pemotongan (doc) = 1,5 mm**

Dari grafik kecepatan potong terhadap kekasaran permukaan seperti yang terlihat pada Gambar 13, pada kedalaman pemotongan = 1,5 mm, nilai kekasaran permukaan yang paling rendah terdapat pada pemakaian kecepatan potong = 145 m/menit. Ini berarti pada kecepatan potong = 145 m/menit menghasilkan kualitas permukaan benda uji yang paling baik, jika penggunaan nilai kecepatan potong diambil lebih dari 145 m/menit maka

permukaan yang dihasilkan pada benda uji akan menjadi lebih kasar, begitu juga jika penggunaan nilai kecepatan potong diambil kurang dari 145 m/menit maka permukaan yang dihasilkan pada benda uji akan menjadi lebih kasar.

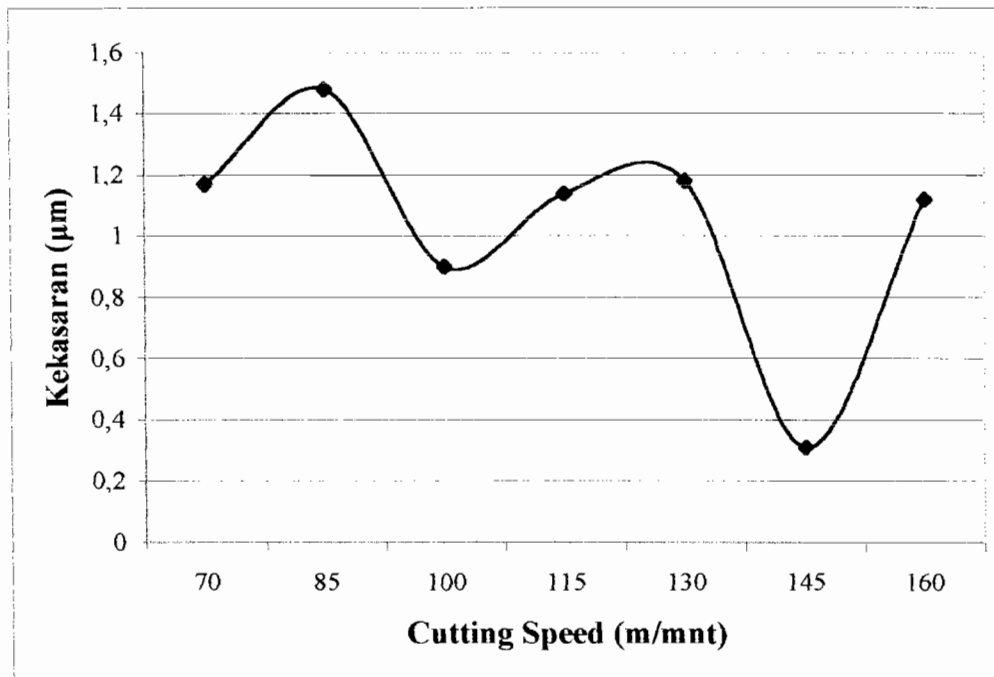


**Gambar 14. Grafik pengaruh kecepatan potong - kekasaran permukaan pada kedalaman pemotongan (doc) = 1 mm**

Dari grafik kecepatan potong terhadap kekasaran permukaan seperti yang terlihat pada Gambar 4, pada kedalaman pemotongan = 1 mm, nilai kekasaran permukaan yang paling rendah terdapat pada pemakaian kecepatan potong = 145 m/menit. Ini berarti pada kecepatan potong = 145 m/menit menghasilkan kualitas permukaan benda uji yang paling baik, jika penggunaan nilai kecepatan potong diambil lebih dari 145 m/menit maka permukaan yang dihasilkan pada benda uji akan menjadi lebih kasar, begitu juga jika penggunaan nilai kecepatan potong diambil kurang dari 145



m/menit maka permukaan yang dihasilkan pada benda uji akan menjadi lebih kasar.



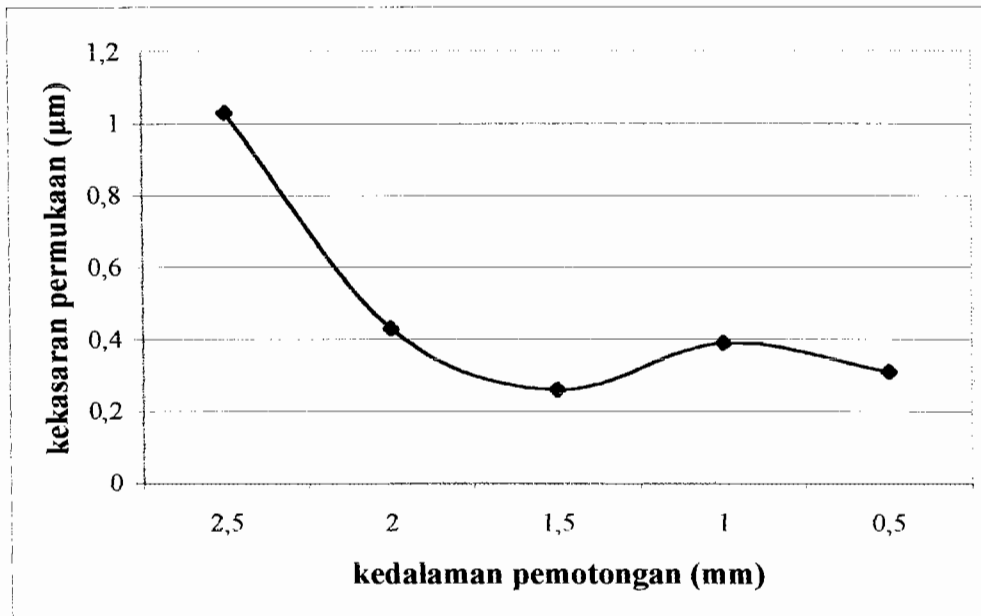
**Gambar 15. Grafik pengaruh kecepatan potong - kekasaran permukaan pada kedalaman pemotongan ( $d_{oc}$ ) = 0,5 mm**

Dari grafik kecepatan potong terhadap kekasaran permukaan seperti yang terlihat pada Gambar 15, pada kedalaman pemotongan = 0,5 mm, nilai kekasaran permukaan yang paling rendah terdapat pada pemakaian kecepatan potong = 145 m/menit. Ini berarti pada kecepatan potong = 145 m/menit menghasilkan kualitas permukaan benda uji yang paling baik, jika penggunaan nilai kecepatan potong diambil lebih dari 145 m/menit maka permukaan yang dihasilkan pada benda uji akan menjadi lebih kasar, begitu juga jika penggunaan nilai kecepatan potong diambil kurang dari 145

m/menit maka permukaan yang dihasilkan pada benda uji akan menjadi lebih kasar.

Dari pembahasan-pembahasan grafik di atas maka didapat nilai kecepatan potong yang menghasilkan kekasaran permukaan yang paling rendah, sehingga bisa diambil kesimpulan bahwa kecepatan potong yang paling sesuai untuk pengerjaan material benda uji dengan memakai alat potong *endmill inserted tip carbide* adalah 145 m/menit. Kecenderungan yang ada pada penelitian adalah terjadi kenaikan nilai kekasaran pada penggunaan kecepatan potong dari 85 – 100 m/menit, hal ini disebabkan karena mesin yang dipakai untuk penelitian, pengaturan kecepatan putar alat potongnya memakai pengaturan motor listrik, bukan memakai pengaturan menggunakan perbandingan roda gigi seperti yang ada pada mesin-mesin konvensional sehingga pada putaran tertentu menyebabkan getaran yang frekuensinya sama dengan frekuensi alami mesin tersebut sehingga terjadi resonansi, maka getaran mesin yang timbul menjadi lebih besar sehingga menyebabkan permukaan benda uji menjadi lebih kasar.

Dengan menggunakan kecepatan potong sebesar 145 m/menit, dapat dilihat nilai kekasaran permukaan yang terendah terletak pada kedalaman pemotongan = 1,5 mm, seperti terlihat pada Grafik 4.6. pengaruh kedalaman pemotongan terhadap kekasaran permukaan jika memakai kecepatan potong = 145 m/menit di bawah ini :



**Gambar 16. Grafik pengaruh kedalaman pemotongan - kekasaran permukaan**

Namun bisa disimpulkan bahwa semakin besar kedalaman pemotongan maka mengakibatkan semakin kasar permukaan yang dihasilkan pada proses permesinan. Hal ini dikarenakan semakin tebal kedalaman pemotongan maka beban pemotongan juga akan semakin besar sehingga mengakibatkan getaran yang besar pada alat potong. Untuk kedalaman pemotongan yang relatif kecil, maka permukaan yang dihasilkan pada benda kerja akan menjadi lebih kasar, hal ini disebabkan karena alat potong yang digunakan pada penelitian adalah alat potong untuk pengerjaan kasar (*roughing*), hasil sayatan yang tipis akan menyebabkan dimensi tatal menjadi kecil dan cenderung masuk ke sela-sela antara permukaan bidang potong dan permukaan alat potong sehingga saat mata potong mengiris benda benda kerja, tatal tersebut juga ikut menggesek permukaan benda kerja sehingga permukaan yang dihasilkan menjadi lebih kasar.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **V.1. Kesimpulan**

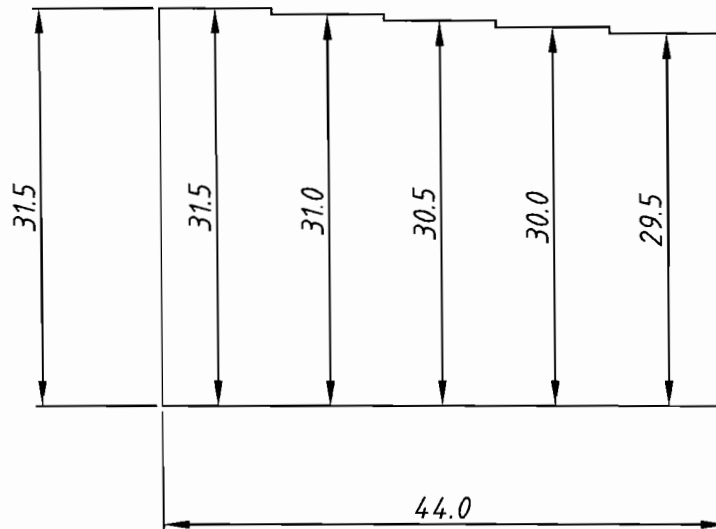
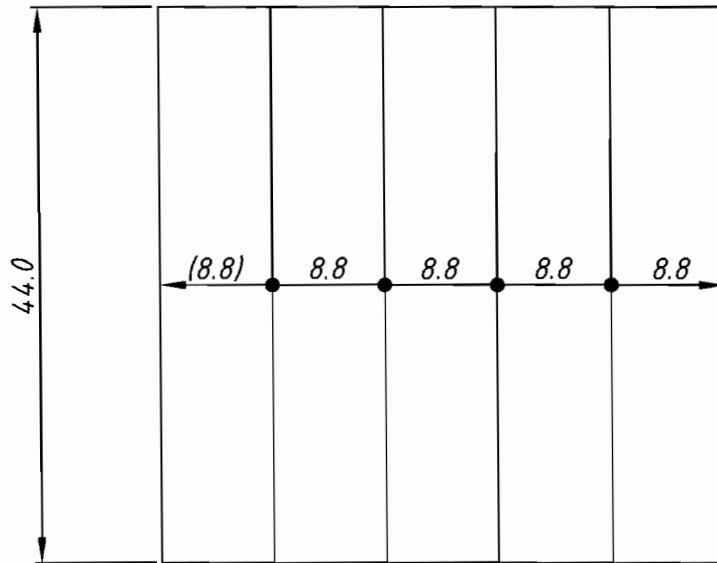
Besarnya kecepatan potong dan kedalaman pemotongan yang digunakan untuk pengerjaan material sangat berpengaruh terhadap kekasaran permukaan yang dihasilkan, karena penentuan besarnya kecepatan potong menentukan besarnya putaran alat potong (rpm) dan *feedrate* yang digunakan saat proses permesinan. Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan material baja karbon rendah dan memakai alat potong *end mill inserted carbide*, dapat diambil kesimpulan bahwa pada kedalaman pemotongan sebesar 1,5 mm akan menghasilkan permukaan yang paling halus, dan kecepatan potong yang paling sesuai untuk proses permesinan pada penelitian yang dilakukan adalah sebesar 145 m/menit.

#### **V.2. Saran**

1. Pada proses pengerjaan permesinan, kondisi pencekaman benda kerja dan pencekaman alat potong yang baik sangat perlu diperhatikan untuk menghindari getaran yang besar saat proses permesinan sehingga kualitas permukaan benda kerja lebih baik serta umur pakai alat potong menjadi lebih lama.
2. Mahasiswa diberi kesempatan untuk melakukan penelitian secara langsung tanpa melalui operator lain, sehingga mahasiswa yakin dengan data yang dihasilkan oleh penelitiannya.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Amsted, B.H., Ostwald, Philip F. and Begeman, Mryon L., 1993, *Manufacturing Processes*, diterjemahkan oleh Sriati Djaprie, edisi ke-4, Erlangga, Jakarta.
- DeGarmo, Ernest Paul, 1997, *Material and Processes in Manufacturing*, 8<sup>th</sup> ed., Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458, USA.
- Gerling, *All About Machine Tools*.
- Groover, Mikell P., 1996, *Fundamentals of Modern Manufacturing : Materials, Processes and System*, Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458, USA.
- Iscar, 2001, *Iscar's Full Version Catalog*, Iscar LTD. World Headquarters, Tefen 24959, Israel.
- Kibbe, Richard R., 1995, *Machine Tool Practices*, 5<sup>th</sup> ed., Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458, USA.
- Sandvik, *High Speed Machining dan die and mould machining konvensional*, Subur Jaringan Cetak Terpadu, Jakarta.
- Sato, G. Hartanto, N. Sugiharto, 1994, *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.



Tol. ±0,1

1	1	Benda Uji TA	MS 44x44x34		
NO.	JML.	NAMA	BAHAN	NORMALISASI	KETERANGAN
	SKALA : 2:1		DIGAMBAR : Thomas Ony		KETERANGAN
	SATUAN : mm		NIM./JUR. : 995214132		
	TANGGAL : 14802		DILIHAT :		
TEKNIK MESIN USD			Benda Uji TA		A4

Program yang digunakan dengan memakai kecepatan potong  $C_s = 85$  m/menit adalah sebagai berikut :

```
0 BEGIN PGM STEP MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-30
2 BLK FORM 0.2 X+40 Y+40 Z+0
3 TOOL CALL 10 Z S1692
4 L X+0 Y+0 Z+200 R0 F MAX M3 M8
5 L X+35.2 Y+60 RL F2000
6 L Z-2.5
7 L Y+0 RL F457
8 L Z-2 F2000
9 L X+26.4 RL F457
10 L Y+40 RR
11 L Z-1.5 F2000
12 L X+17.6 RR F457
13 L Y+0 RL
14 L Z-1 F2000
15 L X+8.8 RL F457
16 L Y+40 RR
17 L Z-0.5 F2000
18 L X+0 RR F457
19 L Y-10 RL
20 L Z+200 R0 F MAX M30
21 END PGM STEP1 MM
```



Program yang digunakan dengan memakai kecepatan potong  $C_s = 100$  m/menit adalah sebagai berikut :

```
0 BEGIN PGM STEP MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-30
2 BLK FORM 0.2 X+40 Y+40 Z+0
3 TOOL CALL 10 Z S1990
4 L X+0 Y+0 Z+200 R0 F MAX M3 M8
5 L X+35.2 Y+60 RL F2000
6 L Z-2.5
7 L Y+0 RL F537
8 L Z-2 F2000
9 L X+26.4 RL F537
10 L Y+40 RR
11 L Z-1.5 F2000
12 L X+17.6 RR F537
13 L Y+0 RL
14 L Z-1 F2000
15 L X+8.8 RL F537
16 L Y+40 RR
17 L Z-0.5 F2000
18 L X+0 RR F537
19 L Y-10 RL
20 L Z+200 R0 F MAX M30
21 END PGM STEP1 MM
```



Program yang digunakan dengan memakai kecepatan potong  $C_s = 115$  m/menit adalah sebagai berikut :

```
0 BEGIN PGM STEP MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-30
2 BLK FORM 0.2 X+40 Y+40 Z+0
3 TOOL CALL 10 Z S2289
4 L X+0 Y+0 Z+200 R0 F MAX M3 M8
5 L X+35.2 Y+60 RL F2000
6 L Z-2.5
7 L Y+0 RL F618
8 L Z-2 F2000
9 L X+26.4 RL F618
10 L Y+40 RR
11 L Z-1.5 F2000
12 L X+17.6 RR F618
13 L Y+0 RL
14 L Z-1 F2000
15 L X+8.8 RL F618
16 L Y+40 RR
17 L Z-0.5 F2000
18 L X+0 RR F618
19 L Y-10 RL
20 L Z+200 R0 F MAX M30
21 END PGM STEP1 MM
```

Program yang digunakan dengan memakai kecepatan potong  $C_s = 130$  m/menit adalah sebagai berikut :

```
0 BEGIN PGM STEP MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-30
2 BLK FORM 0.2 X+40 Y+40 Z+0
3 TOOL CALL 10 Z S2588
4 L X+0 Y+0 Z+200 R0 F MAX M3 M8
5 L X+35.2 Y+60 RL F2000
6 L Z-2.5
7 L Y+0 RL F699
8 L Z-2 F2000
9 L X+26.4 RL F699
10 L Y+40 RR
11 L Z-1.5 F2000
12 L X+17.6 RR F699
13 L Y+0 RL
14 L Z-1 F2000
15 L X+8.8 RL F699
16 L Y+40 RR
17 L Z-0.5 F2000
18 L X+0 RR F699
19 L Y-10 RL
20 L Z+200 R0 F MAX M30
21 END PGM STEP1 MM
```

Program yang digunakan dengan memakai kecepatan potong  $C_s = 145$  m/menit adalah sebagai berikut :

```
0 BEGIN PGM STEP MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-30
2 BLK FORM 0.2 X+40 Y+40 Z+0
3 TOOL CALL 10 Z S2886
4 L X+0 Y+0 Z+200 R0 F MAX M3 M8
5 L X+35.2 Y+60 RL F2000
6 L Z-2.5
7 L Y+0 RL F779
8 L Z-2 F2000
9 L X+26.4 RL F779
10 L Y+40 RR
11 L Z-1.5 F2000
12 L X+17.6 RR F779
13 L Y+0 RL
14 L Z-1 F2000
15 L X+8.8 RL F779
16 L Y+40 RR
17 L Z-0.5 F2000
18 L X+0 RR F779
19 L Y-10 RL
20 L Z+200 R0 F MAX M30
21 END PGM STEP1 MM
```

Program yang digunakan dengan memakai kecepatan potong  $C_s = 160$  m/menit adalah sebagai berikut :

```
0 BEGIN PGM STEP MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-30
2 BLK FORM 0.2 X+40 Y+40 Z+0
3 TOOL CALL 10 Z S3185
4 L X+0 Y+0 Z+200 R0 F MAX M3 M8
5 L X+35.2 Y+60 RL F2000
6 L Z-2.5
7 L Y+0 RL F860
8 L Z-2 F2000
9 L X+26.4 RL F860
10 L Y+40 RR
11 L Z-1.5 F2000
12 L X+17.6 RR F860
13 L Y+0 RL
14 L Z-1 F2000
15 L X+8.8 RL F860
16 L Y+40 RR
17 L Z-0.5 F2000
18 L X+0 RR F860
19 L Y-10 RL
20 L Z+200 R0 F MAX M30
21 END PGM STEP1 MM
```

