

**PENGARUH KOMPENSASI RADIUS DAN DATA ALAT
POTONG TERHADAP KETELITIAN BENDA KERJA
MESIN CNC VMC 200**

TUGAS AKHIR

Nomor Soal : 64 / FT.USD / TM / 2000

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



Oleh :

BAMBANG YULIANTO

NIM : 985214103

NIRM : 983051123109120103

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA
2000**



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA

(Kampus III) Paingan Maguwoharjo, Sleman -DIY
Telp.(0274) 883037,883968, Fax. 0274562383

=====

TUGAS AKHIR PROGRAM S-1 JURUSAN TEKNIK MESIN

Nomor : 64 / FT.USD / TM / 2000

Diberikan kepada :

Nama Mahasiswa : Bambang Yulianto
Nomor Mahasiswa : 985214103
NIRM : 983051123109120103
Jurusan : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Mata kuliah : Mesin CNC/CAD/CAM
Judul/ naskah soal : Telitilah pengaruh kompensasi radius dan data alat potong terhadap ketelitian benda kerja Mesin CNC VMC 200

Tanggal dimulai : 19 Pebruari 2000

Dosen Pembimbing Kedua

Yogyakarta, 3 Mei 2000
Dosen Pembimbing Utama

(RB. Dwiseno Wihadi, S.T.)

(Ir. Subarmono, M.T.)

TUGAS AKHIR
Nomor Soal : 64 / FT.USD / TM / 2000

PENGARUH KOMPENSASI RADIUS DAN DATA ALAT
POTONG TERHADAP KETELITIAN BENDA KERJA
MESIN CNC VMC 200


Oleh:

Bambang Yulianto

NIM : 985214103


NIRM : 983051123109120103

Telah disetujui oleh :

Pembimbing I

Ir. Subarmono, M.T.

28 Agustus 2000

Pembimbing II


RB. Dwiseno Wihadi, S.T.

28 Agustus 2000

TUGAS AKHIR
Nomor Soal : 64 / FT.USD / TM / 2000

**PENGARUH KOMPENSASI RADIUS DAN DATA ALAT
POTONG TERHADAP KETELITIAN BENDA KERJA
MESIN CNC VMC 200**

Dipersiapkan dan ditulis oleh:

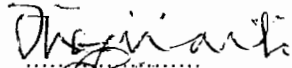
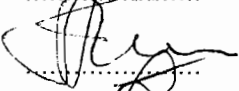
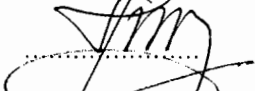
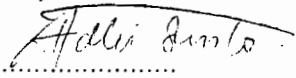
Bambang Yulianto

NIM : 985214103

NIRM : 983051123109120103

**Telah dipertahankan di hadapan Panitia Penguji
pada tanggal : 26 Agustus 2000
dan dinyatakan memenuhi syarat**

Susunan Panitia Penguji :

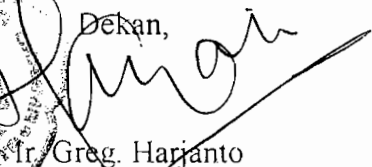
	Nama Lengkap	Tanda tangan
Ketua	Ir. Sugijarto PS.	
Sekretaris	Ir. Subarmono, M.T.	
Anggota	Dr. Ir. I Made Suardjaja, M.Sc.	
Anggota	RB. Dwiseno Wihadi, S.T.	
Anggota	Adhi Susilo, S.T., M.Sc.	

Yogyakarta, 28 Agustus 2000

Fakultas Teknik Mesin

Universitas Sanata Dharma

Dekan,


Ir. Greg. Harjanto

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

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

Yogyakarta, Agustus 2000

Penulis



Bambang Yulianto

HALAMAN PERSEMBAHAN

"Ia membuat segala sesuatu indah pada waktunya"

(PKH 3 : 11a)

Kupersembahkan untuk yang tercinta :
Papa, Mama, Jimmy dan Liana,
yang telah memberi semangat penulis untuk
menyelesaikan studi

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa atas anugrah dan kasihNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Pengaruh Kompensasi Radius dan Data Alat Potong terhadap Ketelitian Benda Kerja Mesin CNC VMC 200".

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

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih atas bantuan dan motivasi serta tanggapan positif dari berbagai pihak. Ucapan terima kasih penulis ditujukan kepada:

1. Bapak Ir. Subarmono, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberi bimbingan selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.
2. Bapak RB. Dwiseno Wihadi S.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberi saran dan masukan selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.
3. Liana, yang telah banyak memberi dorongan, saran dan bantuan selama penyusunan skripsi ini.
4. Pimpinan dan karyawan laboratorium CNC CAD/CAM Fakultas Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
5. Segenap rekan-rekan dan semua pihak yang telah banyak memberi dorongan dan bantuan namun tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dikarenakan keterbatasan pengetahuan dan pengalaman dari penulis. Oleh karena itu sangat

diharapkan adanya saran dan kritik yang membangun. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi almamater dan pembaca.

Yogyakarta, Agustus 2000

Penulis

DAFTAR ISI



HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN SOAL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1. Latar Belakang	1
2. Permasalahan	2
3. Tujuan Penelitian	2
BAB II LANDASAN TEORI DAN HIPOTESIS	3
A. Mesin Milling Vertikal	3
B. Jenis dan Material Alat Potong	6
C. Penentuan Putaran Alat Potong	16
D. Kompensasi Panjang dan Radius Alat Potong	19
E. Hipotesis	30

BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	31
A.	Mesin	31
B.	Benda Kerja	31
C.	Gambar Benda Kerja	33
D.	Alat Potong	31
E.	Jalan Penelitian	32
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	34
1.	Pembuatan Program	34
a.	Urutan Pengerjaan	34
b.	Perhitungan koordinat	34
c.	Program	36
2.	Proses Permesinan	45
BAB V	PENUTUP.....	50
A.	Kesimpulan	50
B.	Saran	50
DAFTAR PUSTAKA.....		52

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
I	Bahan- bahan tambahan didalam <i>HSS</i>	12
II	<i>Cutting Speed</i> untuk beberapa material dan alat potong	18

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
1	Ragam alur <i>end mill cutter</i>	7
2	Ragam <i>cutter end mill HSS</i>	8
3	<i>End mill inserted tip cutter</i>	9
4	<i>End mill inserted tip radius cutter</i>	9
5	<i>End mill inserted tip cutter 45°</i>	9
6	<i>Face end mill inserted tip cutter</i>	9
7	Penjepitan carbide secara mekanis pada pahat bubut	14
8	Lapisan pada <i>coated carbide inserted tip</i>	16
9	Penentuan referensi ketinggian alat potong secara otomatis	21
10	Penentuan ketinggian <i>cutter</i> dari referensi secara otomatis	22
11	Penggunaan G41 dan G42 untuk <i>climb mill</i> dan konvensional mill ...	24
12	Benda kerja	33

BAB I

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Mesin CNC (*Computer Numerical Control*) bukan barang asing bagi dunia industri manufaktur. Kelebihan mesin CNC dibanding mesin manual antara lain waktu *setting* dan proses permesinan yang lebih efisien, hal ini dirasakan pada industri manufaktur dengan pola produksi massal. Mesin CNC juga mampu membuat bentuk-bentuk rumit yang tidak dapat dilakukan oleh mesin manual, misalnya *circular pocket*, pengeboran berpola, proses pemakanan yang melibatkan tiga sumbu sekaligus (X, Y dan Z), dan bentuk-bentuk benda yang didominasi oleh perpotongan radius lingkaran.

Fasilitas mesin CNC yang mempunyai peranan penting dalam pembuatan program adalah kompensasi radius alat potong. Kompensasi radius berarti ralat lintasan alat potong. Kompensasi radius berkaitan dengan data alat potong yang menyimpan ukuran radius alat potong. Pada benda kerja sederhana misalnya balok, dapat ditentukan koordinat sumbu alat potong dengan mudah. Untuk bentuk perpotongan radius dua lingkaran yang berbeda diameter dan mempunyai panjang busur tertentu, timbul kesulitan dalam perhitungan koordinat awal dan koordinat tujuan (untuk perintah G02 atau G03) alat potong, atau jarak benda kerja dengan sumbu alat potong. Dengan menggunakan kompensasi radius, pembuat program dapat mengabaikan radius alat potong selama membuat program (tidak perlu menghitung koordinat sumbu alat potong), sehingga mempermudah pembuatan program. Demikian halnya dengan kompensasi

panjang alat potong, yang mengijinkan pembuat program mengabaikan semua panjang alat potong yang digunakan pada waktu membuat program. Pada waktu persiapan alat potong, dapat ditentukan besarnya panjang alat potong dengan menggunakan *dial indicator* dan proses otomatis dari mesin yang secara langsung memasukkan nilai nominal dari panjang alat potong.

Salah satu kegunaan kompensasi radius dan panjang alat potong yang sangat menentukan fungsi suatu benda adalah pada pembuatan ukuran dengan ketelitian tinggi. Kompensasi radius alat potong sangat membantu proses pemasukan ukuran, karena alat potong dapat diatur sesuai dengan kebutuhan yaitu dengan mengubah data alat potong yang mengatur jarak sumbu alat potong dengan benda kerja. Kompensasi panjang juga dapat diatur dengan mengubah data alat potong yang mengatur jarak ujung alat potong dengan permukaan benda kerja, sehingga kompensasi radius, kompensasi panjang dan data alat potong mempengaruhi ketelitian benda kerja yang akan dibuat.

2. Permasalahan

Dari pernyataan kegunaan kompensasi radius dan panjang alat potong diatas timbul masalah bagaimana pengaruh kompensasi radius, kompensasi panjang dan data alat potong terhadap ketelitian benda kerja pada mesin CNC VMC 200 ?

3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kompensasi radius, kompensasi panjang dan data alat potong terhadap ketelitian benda kerja pada mesin CNC VMC 200.

BAB II

LANDASAN TEORI DAN HIPOTESIS

A. Mesin Milling Vertikal

Memproduksi sesuatu memerlukan perangkat perkakas dan mesin yang dapat digunakan dengan tepat dan ekonomis. Pemilihan mesin atau proses yang tepat dalam pembuatan suatu produk memerlukan pengetahuan mendasar mengenai segala kemungkinan proses produksi. Meskipun kebanyakan produk dapat dibuat dengan beberapa cara, umumnya terdapat satu cara yang paling ekonomis. Oleh karena itu perlu diketahui klasifikasi proses produksi logam secara jelas, yaitu ;

1. Proses untuk mengubah bentuk bahan.
 - a. Ekstraksi biji
 - b. Pengecoran
 - c. Pengerjaan panas dan dingin
 - d. Metalurgi serbuk
 - e. Pencetakan plastik
2. Proses untuk memotong material agar sesuai dengan dimensi yang dikehendaki.
 - a. Permesinan tradisional, dengan pembentukan *chip* (tatal)
 - b. Pengikisan logam
3. Proses untuk penyelesaian permukaan.
 - a. Pengikisan logam

- b. *Polish* (poles)
 - c. Pelapisan
4. Proses untuk menyambung bagian atau bahan.
 5. Proses untuk mengubah sifat fisis.

Pada bagian ini akan dibahas lebih lanjut mengenai proses pemotongan material agar sesuai dengan dimensi yang dikehendaki dengan permesinan tradisional (pembentukan tatal). Yang termasuk proses permesinan tradisional (pembentukan tatal) adalah pembubutan, penyerutan, pengetaman, pengeboran, pelebaran, penggergajian, pengefraisan, pengerindaan dan *hobbing* (Amsted *et al*, 1993).

Mesin frais (*milling*) adalah mesin yang paling mampu melakukan banyak tugas dari segala mesin perkakas. Permukaan yang datar maupun berlekuk dapat di mesin dengan penyelesaian dan ketelitian tinggi. Pemotongan sudut, slot (alur) dan roda gigi dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai macam alat potong. Bor dan *boring tool* dapat dipegang oleh *collet* ataupun *arbor*. Mesin ini dapat membuat penyelesaian dan lubang yang lebih baik (dengan ketelitian tinggi) dan jauh lebih mudah daripada mesin ketam ataupun mesin bor. Pemotongan yang berat dan banyak dapat dilakukan tanpa mempengaruhi proses *finishing* dan ketelitiannya. Juga alat potong yang efisien dalam gerakannya dan dapat dipakai untuk waktu yang lama sampai perlu diasah kembali. Demikian halnya dengan ketersediaan dari alat potong yang beraneka ragam baik bentuk dan ukuran membuat mesin frais mempunyai peranan yang sangat penting dalam dunia industri (Amsted *et al*, 1992).

Mesin milling vertikal pertama muncul sekitar tahun 1860. Pengembangan mesin milling vertikal mempunyai hubungan yang lebih dekat dengan mesin bor daripada mesin milling horisontal. Prinsip dasar pada mesin bor dan mesin milling vertikal adalah bahwa semua rakitan spindel, puli dan komponen lainnya bergerak secara vertikal. Pengaturan ini berarti bahwa bantalan yang mendukung alat potong selalu berada dekat dengan alat potong.

Perubahan yang berarti muncul pada pertengahan tahun 1880 dengan pengadopsian kaki dan kolom dari mesin milling horisontal. Hal ini mengakibatkan meja dapat dinaik-turunkan dalam arah sumbu spindel.

Menjelang abad 20, mesin milling vertikal muncul dengan spindle yang dapat bergerak turun. Juga mikrometer dan skala vernier ditambahkan pada mesin milling vertikal yang membuat mesin ini lebih tepat untuk pembuatan lubang yang teliti, yang dikenal sebagai *jig boring*.

Perkembangan desain mesin milling vertikal setelah 1910 berhubungan dengan mekanisme kendali dan pengontrolan. Mesin dengan pergerakan meja otomatis mulai terkenal dan tahun 1920 mekanisme servo elektronik digunakan untuk pengoperasian mesin milling vertikal.

Sistem kontrol, tidak terbatas pada mesin milling vertikal mengalami perkembangan dengan menggunakan kontrol pergerakan mesin oleh komputer yang sering dikenal sebagai CNC (*Computer Numerical Control*).

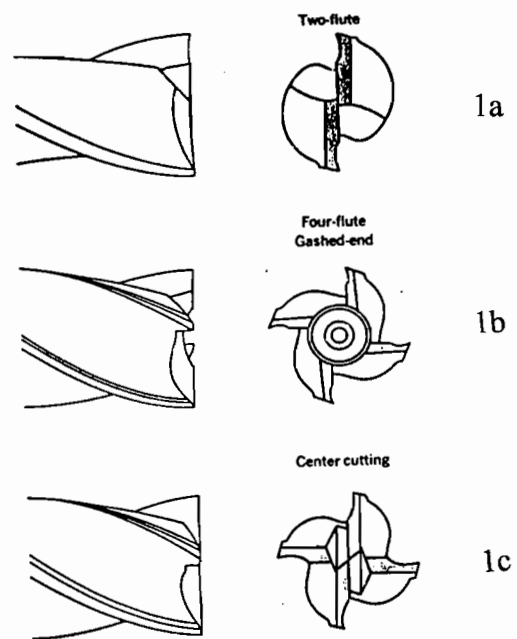
Mesin milling vertikal adalah salah satu mesin perkakas multi guna di dalam sebuah bengkel, dan dalam beberapa hal lebih menonjol daripada mesin bubut. Mesin milling vertikal ini lebih mampu menangani tuntutan permesinan meliputi milling, *drilling*, *boring* dan *slotting* (Kibbe, 1995).

B. Jenis dan Material Alat Potong

Keanekaragaman pemotongan logam dari mesin milling vertikal dapat direalisasikan dan dikembangkan dengan mengerti, mengidentifikasi dan memilih dari bermacam-macam jenis milling *cutter* (alat potong) yang tersedia untuk mesin milling vertikal. Jenis-jenis alat potong yang digunakan pada mesin milling vertikal :

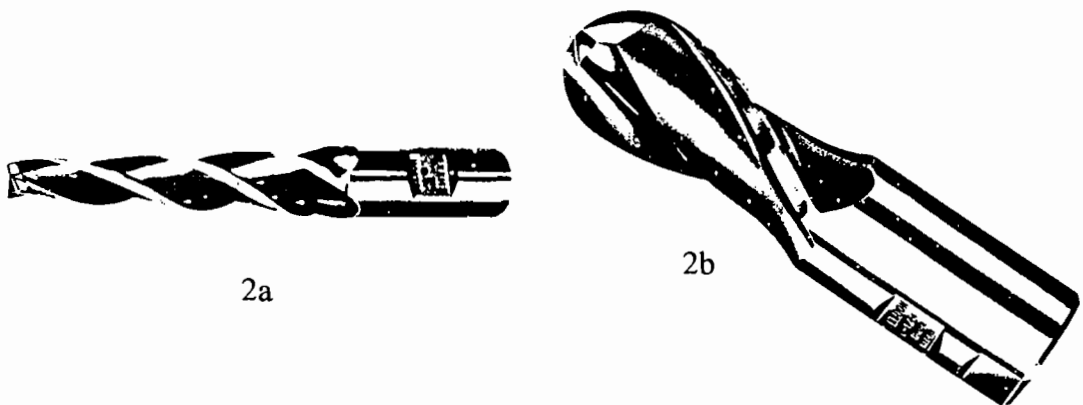
1. *End Mill HSS*

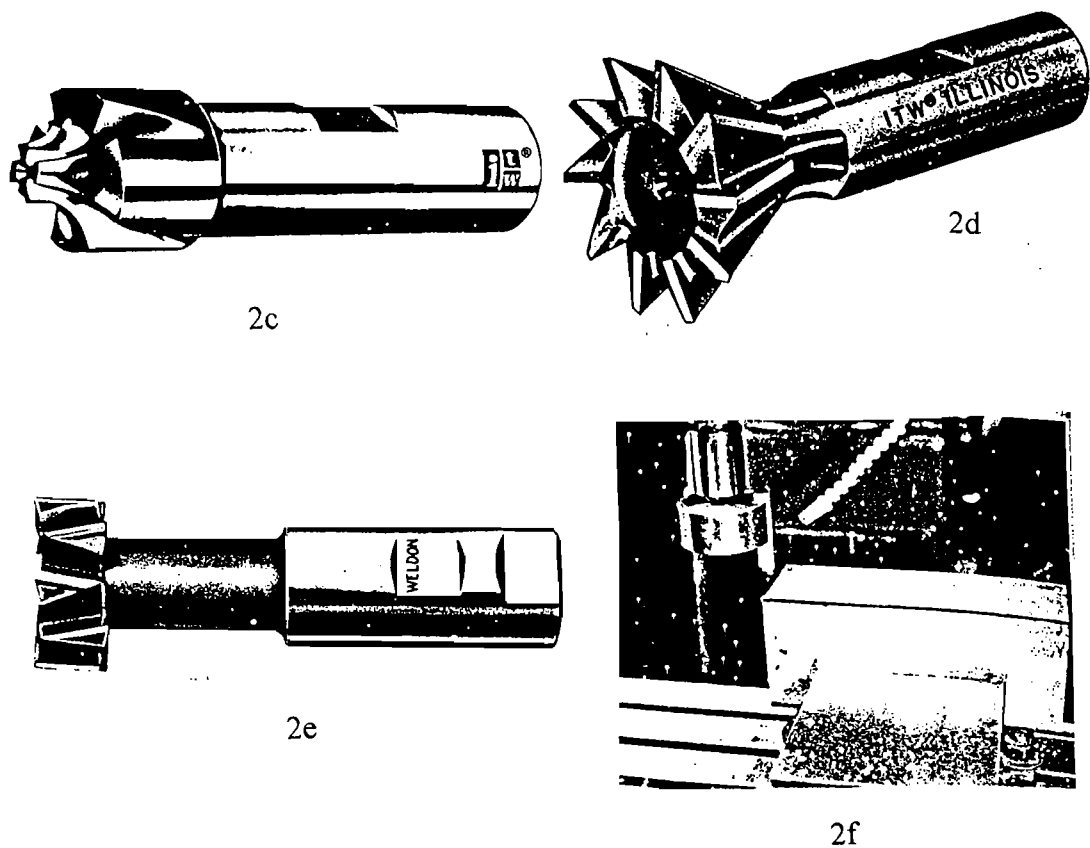
Alat potong jenis ini yang paling sering digunakan pada mesin milling vertikal. Dinamakan *end mill* karena pemakanan utama dari alat ini terletak pada ujungnya. *End mill* mempunyai dua, tiga, empat alur bahkan lebih dan dapat beralur kiri atau kanan. *Cutter* beralur kanan proses pemotongannya terjadi bila diputar berlawanan arah jarum jam. *Cutter* beralur kiri proses pemotongannya terjadi bila diputar searah jarum jam. *End mill* beralur 3 adalah gabungan antara kemampuan membuat tatal yang banyak dari *end mill* beralur 2 dengan kemampuan membuat *finishing* dari *end mill* beralur 4. *End mill* beralur dua (Gambar 1a) dapat untuk membuat lubang, karena dapat membuat lubang awal sendiri. Untuk *end mill* beralur empat yang mempunyai pusat pemotong (Gambar 1c) juga dapat membuat lubang tanpa awalan karena pada tengah-tengah mata potong mempunyai sisi potong. Untuk *end mill* beralur empat yang mempunyai lubang pada pusat pemotongnya (Gambar 1b) tidak dapat membuat lubang tanpa proses pendahuluan (pembuatan lubang yang lebih kecil).



Gambar 1. Ragam alur *end mill cutter*

End mill cutter HSS (High Speed Steel) adalah *cutter* yang umum digunakan untuk mesin milling vertikal. Bentuk *end mill* yang bermacam-macam seperti bentuk tirus (2a), radius luar (2b), radius dalam (2c), alur ekor burung (2d), alur T (2e), *flycutter (single lip cutter)* (2f), dapat dilihat pada (Gambar 2).





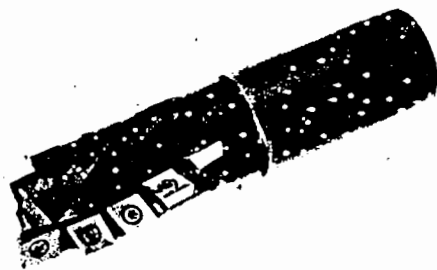
Gambar 2. Ragam *cutter end mill HSS*

2. *End Mill Inserted Tip*

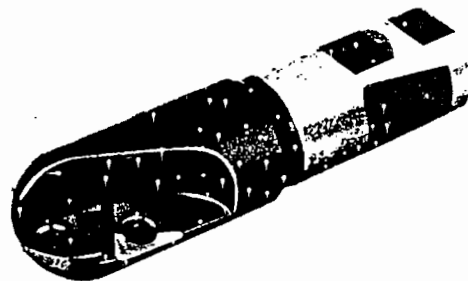
Banyak *end mill* ukuran kecil terbuat dari *carbide*, hal ini ditujukan untuk memperbaiki kemampuan *end mill HSS* khususnya digunakan untuk memproses material yang mengikis alat potong. Jika *end mill cutter carbide* ini terbuat dari butiran *carbide* yang baik, keuletannya akan mendekati *HSS* tetapi dengan kekerasan *carbide*. Banyak operasi permesinan menggunakan *cutter HSS* karena *cutter carbide* terlalu rapuh untuk digunakan pada mesin biasa. Sekarang *inserted tip cutter* mulai menggeser kedudukan *cutter HSS*.

Keuntungan utama *inserted tip cutter* adalah kemampuan memproses semua jenis material dengan bentuk *cutter* bermacam-macam dan tidak memerlukan pengasahan. Satu *end mill inserted tip* dapat diganti mata

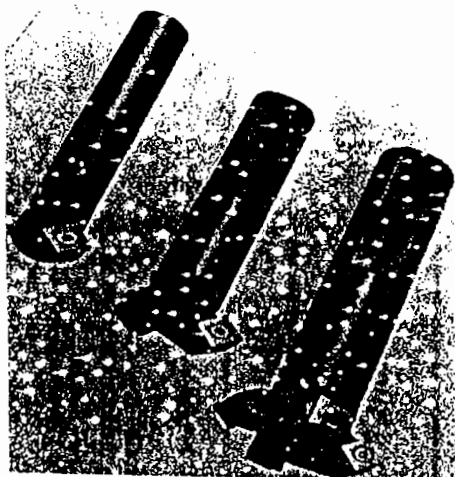
potongnya (tip) dengan bermacam-macam bentuk geometri yang tepat sehingga dapat memproses material aluminium, baja, besi tuang, ataupun *tool steel*. Pada pemakanan yang dalam, digunakan *end mill inserted tip* dengan mata potong sepanjang badan *cutter*. Desain alur *end mill inserted tip* memberikan gerakan pemotongan yang leluasa untuk semua jenis material (Gambar 3). Ujung *end mill inserted tip* ada yang berbentuk radius, dapat digunakan untuk membuat lubang tembus dan pemakanan samping (Gambar 4). *End mill inserted tip* yang bermata potong 45° digunakan untuk membuat *chamfer* pada lubang dan permukaan miring (Gambar 5). *Face end mill inserted tip* digunakan untuk meratakan permukaan yang lebar (Gambar 6) (Kibbe, 1995).



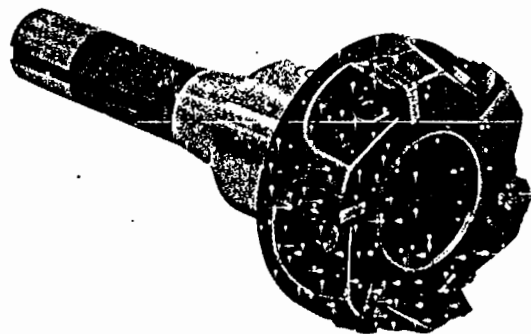
Gambar 3



Gambar 4



Gambar 5



Gambar 6

Pemilihan penggunaan jenis *cutter* (*HSS*, *carbide* atau *inserted tip* (dapat berupa *carbide* atau *coated carbide*)) dalam proses produksi mempunyai peranan yang penting dalam penentuan biaya produksi dan harga suatu produk. Kemampuan dan sifat masing-masing bahan *cutter* (*HSS*, *carbide* atau *inserted tip* (*coated carbide*)), material dan tuntutan kualitas maupun fungsional suatu produk adalah hal yang saling berkaitan. Sebelum dibahas mengenai masing-masing bahan *cutter*, suatu material agar dapat disebut sebagai alat potong harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. *Thougness* (ulet). Untuk menghindari kerusakan karena patah, suatu material harus memiliki sifat ulet. Hal ini merupakan perpaduan antara kekuatan dan kemampuan mulur material.
2. *Hot hardness* (kemampuan material mempertahankan kekerasannya pada kondisi panas). Hal ini diperlukan karena alat potong dioperasikan pada suhu yang tinggi.
3. *Wear resistance* (keawetan). Kekerasan adalah sifat yang harus dimiliki oleh material alat potong untuk tahan terhadap keausan pemakaian. Semua jenis material alat potong harus keras, tetapi keawetan alat potong tidak tergantung hanya dari kekerasan material, karena keawetan juga tergantung pada cara pemakaian alat potong. Faktor lain yang mempengaruhi keawetan adalah kualitas permukaan alat potong (semakin halus permukaannya, semakin kecil koefisien geseknya), struktur kimia baik dari alat potong maupun jenis material benda kerja dan ketersediaan cairan pendingin untuk alat potong (Groover, 1996).

Berikut ini penjelasan tentang masing-masing bahan :

a. *HSS (High Speed Steel)*

Diperkenalkan pada tahun 1900 oleh Taylor dan White, dimana kedudukan *HSS* lebih keras dari *tool steel* (adalah baja karbon atau campuran baja menengah atau campuran baja rendah (mengandung 0,9 % s/d 1,3 % karbon) yang dikeraskan dan di *temper*, tetapi kehilangan kekerasannya pada suhu 400° F), tahan hingga temperatur 1100° F. Dapat dioperasikan pada dua kali *cutting speed* (kecepatan potong) *carbon steel* dengan umur pakai yang sama sehingga material ini dinamakan *High Speed Steel (HSS, baja kecepatan tinggi)* (DeGarmo, 1997).

HSS dibagi dua jenis, yaitu :

- Jenis tungsten, disingkat *T-grades* (Kelas T) oleh AISI (American Iron and Steel Institute).

Jenis ini menggunakan tungsten (W) sebagai unsur pokok (12 % s/d 20 %). Bahan tambahan lainnya adalah chromium (Cr, 4 %) dan vanadium (V, 1 % s/d 2 %). *HSS* terbaik dari jenis ini adalah T1 atau *HSS 18 - 4 - 1*, yang terdiri 18 % W, 4 % Cr dan 1 % V.

- Jenis molybdenum, disingkat *M-grades* (Kelas M) oleh AISI.

Jenis ini terdiri dari perpaduan tungsten (W, 6 %) dan molybdenum (Mo, 5 %) ditambah dengan tambahan bahan lainnya seperti kelas T. Untuk menambah *hot hardness* ditambahkan unsur cobalt (Co, 5 % s/d 8 %).

HSS juga mengandung karbon (0.75 % s/d 1.5 %). Fungsi bahan tambahan dalam *HSS* adalah sebagai berikut :

Tabel I. Bahan-bahan tambahan didalam *HSS*

Bahan Tambahan	Fungsi di dalam <i>HSS</i>
Tungsten	<ul style="list-style-type: none"> - Menambah <i>hot hardness</i> - Memperbaiki ketahanan terhadap abrasi melalui pembentukan karbide-karbid keras di dalam <i>HSS</i>
Molybdenum	<ul style="list-style-type: none"> - Menambah <i>hot hardness</i> - Memperbaiki ketahanan terhadap abrasi melalui pembentukan karbid-karbid keras di dalam <i>HSS</i>
Chromium	<ul style="list-style-type: none"> - Menambah kemampuan pengerasan dalam proses <i>heat treatment</i> (perlakuan panas) - Memperbaiki ketahanan terhadap abrasi melalui pembentukan karbid-karbid keras di dalam <i>HSS</i> - Menambah ketahanan terhadap korosi
Vanadium	<ul style="list-style-type: none"> - Berpadu dengan karbon,menambah keawetan - Memperlambat pengembangan butiran untuk sifat liat yang lebih baik
Cobalt	<ul style="list-style-type: none"> - Menambah <i>hot hardness</i>
Carbon	<ul style="list-style-type: none"> - Elemen utama dalam pengerasan baja - Menyediakan karbon yang diperlukan untuk pembentukan karbid dalam proses pencampuran elemen-elemen untuk meningkatkan keawetan

HSS sangat tepat untuk digunakan dalam pembuatan geometri alat potong yang kompleks seperti bor, tap dan milling *cutter*. Peralatan yang kompleks ini jauh lebih mudah dan lebih murah pembuatannya dari *HSS* dibandingkan dengan material alat potong yang lain. Alat-alat potong tersebut dapat diperlakukan panas sehingga kekerasan ujung potongnya sangat baik (65 HRc) sementara didalamnya tetap ulet. *HSS cutter*

mempunyai keuletan yang lebih baik dibandingkan dengan alat potong *cemented carbide*. Meskipun untuk alat potong bermata tunggal pun *HSS* juga terkenal pemakaiannya karena mudahnya pembentukan geometri alat potong yang diinginkan (Groover, 1996).

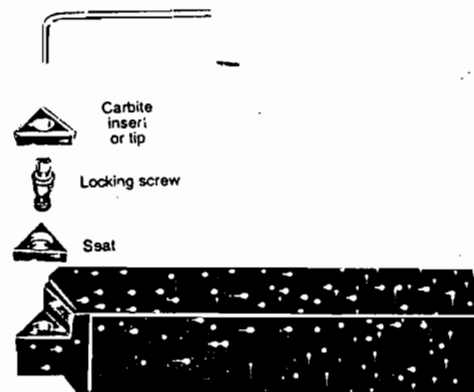
b. Carbide

Carbide adalah campuran logam non ferro, disebut juga carbide sinter (cemented) karena dibuat dengan cara *powder metallurgy*. Material ini terkenal selama Perang Dunia II, karena dapat digunakan pada 4 atau 5 kali *cutting speed carbon steel*. Model terakhir mengandung banyak carbide tungsten, dengan cobalt (3 % s/d 13 %) sebagai pengikat. Kebanyakan alat potong carbide sekarang ini menggunakan WC atau multcarbide dari W-Ti atau W-Ti-Ta, tergantung dari material yang akan diproses. Cobalt digunakan sebagai pengikat. Material alat potong ini lebih keras, secara kimia lebih stabil, mempunyai *hot hardness* yang lebih baik, kekakuan yang lebih tinggi, gesekan kecil dan *cutting speed* yang lebih besar dari *HSS*. Carbide lebih rapuh dan lebih mahal dari *HSS*.

Material *cemented carbide* yang berasal dari TiC telah dikembangkan untuk perangkat industri otomatis dengan Ni dan Mo sebagai pengikat. Alat potong ini digunakan untuk kecepatan tinggi (> 300 m/menit) dan untuk memproses baja dan besi tuang *malleable*.

Alat potong *cemented carbide* dapat disisipkan dan tersedia dalam bermacam-macam bentuk; persegi panjang, segitiga, intan dan lingkaran. Dapat juga di-*brazed* atau dijepit secara mekanik pada ujung alat potong.

Penjepitan mekanik lebih banyak digunakan karena bila salah satu sisi potongnya tumpul, carbide dapat putar untuk mendapatkan sisi potong yang baru (Gambar 7) (DeGarmo, 1997).



Gambar 7. Penjepitan carbide secara mekanis pada pahat bubut

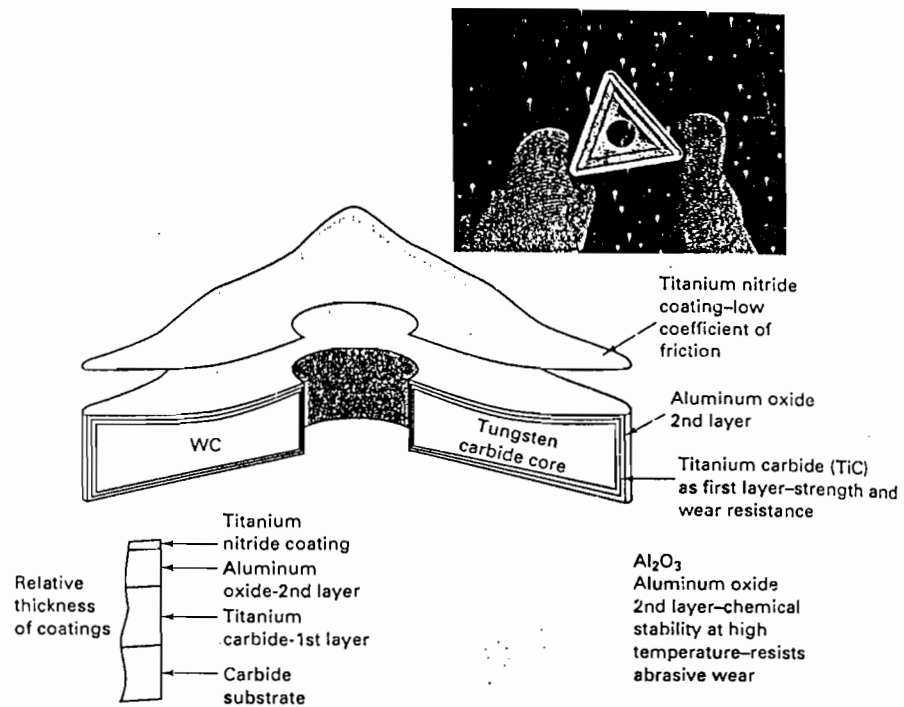
c. Coated Carbide

Coated tool (alat potong yang dilapis) telah umum digunakan dalam industri pemrosesan baja karena *coating* (proses pelapisan) meningkatkan umur alat potong hingga 200 s/d 300 % bahkan lebih. Didalam alat potong, persyaratan bahan pada permukaan alat potong adalah tahan terhadap abrasi, keras dan stabil secara kimia untuk mencegah reaksi kimia antara alat potong dan material selama proses pemotongan. Sebuah lapisan yang tipis dan keras dari TiC, TiN atau Al₂O₃ memenuhi persyaratan ini. Sebagian besar alat potong ini ulet, tahan beban kejut, tahan deformasi plastis pada suhu tinggi dan tahan terhadap kerusakan.

Bahan pelapis harus keras, stabil secara kimia dan pasif secara kimia untuk melindungi inti alat potong dan material terhadap reaksi kimia selama

proses pemotongan. Bahan pelapis harus berasal dari butiran yang baik, bebas dari pengikat dan tidak berpori-pori. Bahan pelapis secara metalurgi direkatkan pada lapisan dibawahnya. Lapisan yang bertingkat digunakan untuk menyesuaikan sifat dari pelapis dan inti 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 abrasiv. 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 8).

Bahan pelapis harus mempunyai koefisien gesek yang rendah sehingga tatal yang dihasilkan tidak menempel pada sisi potong. Alat potong berlapis TiC diperkenalkan pada tahun 1969. Pelapis material meliputi pelapis tunggal dari TiC, TiN, Al_2O_3 , HfN atau HfC. Pelapis ganda juga digunakan, dimana tiap lapisan memberikan karakteristiknya masing-masing ke alat potong. Penggabungan yang paling berhasil adalah TiN/TiC/TiCN/TiN dan TiN/TiC/ Al_2O_3 . Tehnik yang digunakan untuk melapisi carbide adalah CVD (Chemical Vapor Deposition, pengendapan uap secara kimia).



Gambar 8. Lapisan pada *coated carbide inserted tip*

Coated carbide inserted dikenal luas dalam bermacam-macam aplikasi pemotongan logam. Alat potong berlapis ini mempunyai keawetan dua s/d tiga kali pemakaiannya dibandingkan dengan alat potong yang tidak dilapisi untuk keausan yang sama (DeGarmo, 1996).

C. Penentuan putaran alat potong

Hal yang berkaitan dengan jenis alat potong adalah *cutting speed* (kecepatan potong; kecepatan dimana sebuah titik didalam *cutter* melewati sebuah titik pada benda kerja dalam waktu yang ditentukan) yang tergantung pada jenis material, karena tiap alat potong mempunyai kemampuan yang berbeda dalam memproses material (Kibbe, 1995).

Dari kecepatan potong, dapat ditentukan putaran *cutter* (rpm) dengan rumus sebagai berikut :

$$n = \frac{1000 \cdot C_s}{\pi \cdot D}$$

Untuk :

n = putaran *cutter* (rpm)

C_s = kecepatan potong (m/menit)

D = diameter *cutter* (mm)

Untuk diameter *cutter* dan kecepatan potong (C_s) dari material yang telah diketahui, maka dapat dihasilkan putaran *cutter* yang sesuai dengan jenis *cutter* dan jenis material yang akan diproses. Untuk menentukan kecepatan potong yang baik, harus mempertimbangkan :

1. Material alat potong (*cutter*)

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

2. Jenis material yang akan diproses

Kekerasan Brinell dari material yang akan diproses adalah parameter untuk memproses dengan mudah. Bahan lunak seperti magnesium dan aluminium dapat di *milling* dengan kecepatan yang lebih tinggi daripada bahan yang lebih keras.

3. Jenis penyelesaian yang diperlukan

Penyelesaian yang paling baik diperoleh dengan *depth of cut* yang kecil dan kecepatan potong yang tinggi. Secara umum, kecepatan potong dari proses *finishing* harus sekitar 20 % lebih tinggi dari proses *roughing*.

4. Umur alat potong (*cutter*)

Pemotongan yang berat menimbulkan panas dengan cepat sehingga dilakukan lebih lambat daripada pemotongan ringan. Kecepatan potong yang rendah mengakibatkan *cutter* lebih awet.

5. Penggunaan media pendingin

Kecepatan potong yang tinggi menimbulkan panas yang tinggi pula sehingga *cutter* dan permukaan material yang diproses perlu dialiri cairan pendingin untuk mengurangi panas. *Cutter* dan material yang diproses dialiri media pendingin seperti minyak larutan, minyak tersulfurisasi atau minyak mineral. Pada besi tuang sering di milling kering karena aksi pelumasan dari grafit. Kerosin sering digunakan sebagai media pendingin untuk material aluminium (Amsted *et al*, 1992).

Besarnya C_s untuk tiap material dan alat potong dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel II. *Cutting speed* untuk beberapa material dan alat potong (Kibbe, 1995).

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	300-100	500-1500	250-600	
Tool steel	40-70		250-500		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		
Nonmetallics		400-600					400-2000
Superalloys		70-100	30-150		500-1000	300-800	

Sebagai contoh, untuk menghitung rpm untuk *cutter shell end mill HSS* Ø 40, dari tabel II dapat dilihat C_s untuk material aluminium adalah 300 s/d 800 (feet permenit), bila diubah dalam satuan meter per menit (1 feet = 0,3048 m) adalah 91 s/d 244 m/menit. Untuk C_s yang dipakai adalah nilai minimum yaitu 91 m/menit, dengan pertimbangan faktor keamanan. Putaran mesinnya adalah :

$$n = \frac{1000 \cdot C_s}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 91}{\pi \cdot 40} = 724 \text{ rpm}$$

Dari perhitungan diatas, dihasilkan putaran 724 rpm untuk *cutter shell end mill HSS* Ø 40. Bila pada mesin konvensional tidak terdapat putaran sebesar 724 rpm, dapat dipergunakan pendekatan, misalnya digunakan 700 rpm atau 750 rpm.

D. Kompensasi Panjang dan Radius Alat Potong

Fasilitas kompensasi radius alat potong pada mesin CNC milling vertikal mengijinkan pembuat program untuk mengabaikan radius alat potong yang digunakan dalam pembuatan program. Kompensasi radius alat potong meliputi :

a. Besarnya kompensasi panjang dan radius alat potong

Sebuah perintah didalam program menginstruksikan sistem kontrol untuk mengaktifkan alat potong beserta kompensasi radius dan panjang alat potong. Perintah ini mengarah pada data alat potong yang menyimpan ukuran radius dan panjang alat potong. Program akan mempersiapkan kompensasi radius dan panjang alat potong menurut nilai nominal yang ditemukan pada data alat

potong yang bersangkutan (Lynch, 1993). Sistem kontrol EMCO menggunakan perintah :

Nzzzz Txxyy

Untuk :

N menunjukkan nomor baris program;

zzzz berupa angka misalnya 0100;

T menunjukkan perintah pengaktifan suatu alat potong dan merupakan perintah untuk penggantian alat potong;

xx disebut nomor alat potong, yang menunjukkan nomor posisi alat potong pada papan alat potong dengan penggantian alat otomatis, berupa angka dari 01 sampai dengan 99;

yy disebut nomor kompensasi alat potong, yang menunjukkan kode nomor *data tool* (data alat potong) baik panjang dan radius. Nomor kompensasi ini tercantum pada memori data alat potong (MAIER, 1990).

Contoh :

N0040 T0101 M03 S600 F100 M08

Arti :

Pada nomor baris 40, sistem kontrol diminta untuk mempersiapkan alat potong pada tempat alat potong (*turret*), memutar spindle searah jarum jam, kecepatan spindle 600 rpm, kecepatan pemakanan (*feeding*) 100 dan menghidupkan cairan pendingin.

Operator akan mengisikan nilai radius dan panjang alat potong saat *setting* (persiapan), dan disimpan pada data alat potong. Pada kebanyakan mesin milling vertikal, operator akan mengisikan panjang alat potong (jarak dari ujung alat potong sampai dengan leher spindle, dilambangkan huruf Z pada mode *Edit Data Tool*).

Data panjang alat potong dapat diketahui secara otomatis oleh mesin CNC dengan menggunakan *dial indicator* dan secara langsung dimasukkan ke data alat potong. Prosedur *setting* alat potong dengan otomatis sbb:

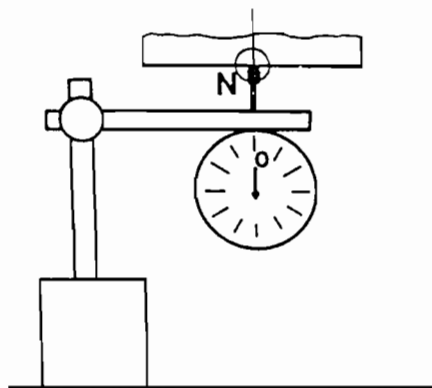
1. Menggunakan mode MAN
2. Puncak peraba dial indikator disentuhkan ke bidang titik N, kemudian spindle diturunkan kebawah (perlahan-lahan) sampai dial indikator menunjukkan angka nol (Gambar 9). Nilai ketinggian (H) tertentu dicapai, dan disimpan ke dalam sistem kontrol dengan :

SHIFT

T00

ENTER

Kemudian spindle ditarik keatas, dijauhkan dari dial indikator.



Gambar 9. Penentuan referensi ketinggian alat potong secara otomatis

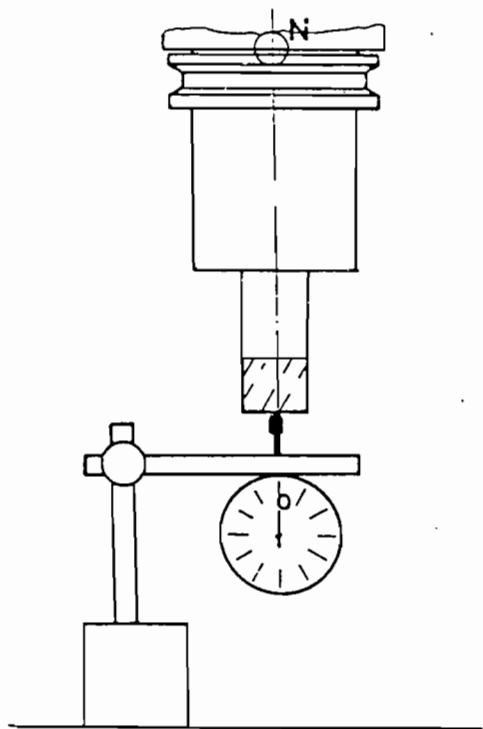
3. Turet (piringan pembawa alat potong) diputar ke posisi alat potong (misalnya posisi 1) yang akan diukur panjangnya. Puncak peraba dial indikator disentuhkan pada ujung alat potong secara perlahan dengan menurunkan spindle perlahan-lahan, sampai dial indikator menunjukkan angka nol yang sama seperti pada langkah no. 2 (Gambar 10). Nilai ketinggian (H) tertentu dicapai, dan disimpan ke dalam sistem kontrol dengan :

SHIFT

T01

ENTER

Panjang alat potong 1 telah tersimpan secara otomatis dalam T0101 (dilambangkan Z, pada mode EDIT DATA TOOL) pada sistem kontrol (MAIER, 1990).



Gambar 10. Penentuan ketinggian *cutter* dari referensi secara otomatis

Radius alat potong adalah ukuran radius alat potong yang sebenarnya (menurut pengukuran, dilambangkan huruf R pada mode *Edit Data Tool*). Kompensasi radius alat potong digunakan ketika memakai alat potong yang mempunyai karakter dan kemampuan proses seperti *cutter*, misalnya *end mill* dan *shell end mill*. Pada kebanyakan sistem kontrol mesin milling vertikal CNC, kompensasi radius alat potong ini digunakan sistem kontrol untuk mengenali radius alat potong. Tetapi bila ada sistem kontrol CNC menggunakan kompensasi radius alat potong ini sebagai diameter alat potong, maka semua kompensasi radius alat potong yang akan digunakan harus dikalikan dua (Lynch, 1993).

b. Jalannya alat potong

Kompensasi radius alat potong (*cutter*) menggunakan 3 simbol G yaitu :

G40 membatalkan / menghapus;

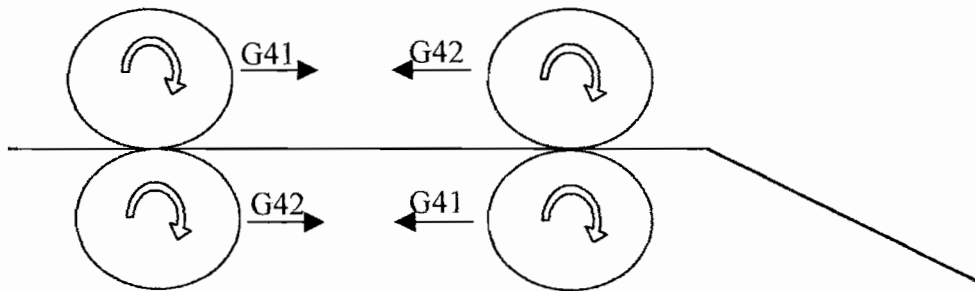
G41 *cutter* di sebelah kiri;

G42 *cutter* di sebelah kanan.

G41 dan G42 digunakan untuk menyatakan kompensasi radius alat potong. Untuk pemilihan kompensasi yang akan digunakan, perlu diperhatikan arah gerakan alat potong dan di sisi benda kerja sebelah mana alat potong berada. Jika alat potong berada disebelah kiri benda kerja, digunakan G41 untuk menyatakan kompensasi radius. Bila disebelah kanan benda kerja gunakan G42 (Gambar 11) (MAIER, 1990).

Jika dapat membedakan antara *climb* dan konvensional milling, ada cara yang mudah untuk mengenali G41 dan G42. *Climb mill* adalah pemakanan

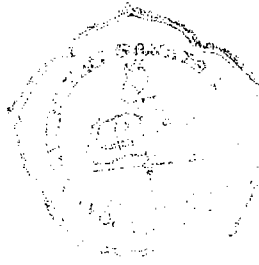
cutter yang searah dengan pergerakan meja, sedangkan konvensional *mill* adalah pemakanan *cutter* yang berlawanan arah dengan pergerakan meja (arah pergerakan meja berlawanan dengan tanda panah pada Gambar 11). Dengan *cutter* beralur kiri (spindle bergerak searah jarum jam / *clock wise* dengan M03), G41 digunakan untuk *climb mill* dan G42 digunakan untuk konvensional milling.



Gambar 11. Penggunaan G41 dan G42 untuk *climb* mill dan konvensional mill

Pemilihan penggunaan kompensasi radius *cutter* tergantung juga pada gerakan alat potong, bentuk benda kerja dan proses pengerjaan yang diinginkan.

Sekali dinyatakan, kompensasi radius alat potong akan tetap berpengaruh sampai dibatalkan (dihapus). Sehingga sistem kontrol akan tetap mengatur posisi alat potong disebelah kiri atau kanan (tergantung G41 atau G42) dari benda kerja yang diprogram hingga ada pernyataan pembatalan kompensasi (G40). Pembuat program harus membatalkan kompensasi radius alat potong bila sudah selesai membuat program, karena kompensasi radius cutter akan tetap berpengaruh meski sudah terjadi pergantian alat potong dan dapat



Besarnya kompensasi radius dan jalannya alat potong mempunyai hubungan yang erat, karena nilai nominal dari kompensasi radius alat potong merupakan jarak antara benda kerja dan sumbu alat potong kerja ketika alat potong diletakkan disebelah kiri atau kanan benda kerja (melalui perintah G41 atau G42). Sebagai contoh, bila digunakan alat potong *end mill* $\varnothing 20$ dengan nilai kompensasi radius 10 (setengah diameter alat potong), setelah G41 atau G42 dinyatakan, sistem kontrol akan menjaga jarak antara sumbu alat potong dan benda kerja sebesar 10 mm (posisi alat potong disebelah kiri atau kanan benda kerja, tergantung pemakaian G41 atau G42).

Peranan koordinat benda kerja dalam pembuatan program sangat menentukan bentuk benda kerja, karena koordinat benda kerja merupakan titik awal dan titik tujuan kemana alat potong akan bergerak, sehingga kompensasi radius cutter merupakan fasilitas yang sangat penting dalam pembuatan kontur benda yang sulit. Pembuat program tidak perlu menghitung koordinat sumbu *cutter* dengan radius tertentu yang akan digunakan dan lagi bila tidak tersedia *cutter* yang direncanakan, semua perhitungan koordinat akan berubah.

Berikut adalah kegunaan kompensasi radius alat potong (Lynch,1993):

1. Untuk memasukkan ukuran benda kerja

Salah satu manfaat penggunaan kompensasi radius *cutter* adalah memberikan kemudahan dalam memasukkan ukuran benda kerja. Pada semua kasus, untuk menyisakan material harus ada penambahan nilai nominal terhadap kompensasi radius *cutter* (membuat nilai nominal semakin besar / plus). Hal ini akan membuat alat potong lebih jauh dari

permukaan benda kerja yang akan diproses. Setelah benda kerja selesai diproses dan diukur, dapat dikurangi kompensasi radius *cutter* seperlunya.

Sebagai contoh, akan dibuat sebuah balok dengan ukuran panjang sisi yang teliti yaitu $40.00 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$. Merupakan suatu kecerobohan bagi operator bila langsung menjalankan program tanpa memperhatikan nilai nominal kompensasi radius *cutter*. Dalam hal ini akan digunakan alat potong *cutter end mill* $\varnothing 10 \text{ mm}$ dan nilai nominal kompensasi radiusnya disimpan pada data tool 1 (dibawah huruf R) pada saat persiapan benda kerja dan mesin. Ketika memasukkan nilai nominal kompensasi radius cutter, operator memasukkan nilai nominal 5.00 mm pada kolom R data tool 1. Jika ingin menyisakan material setebal 0.02 mm, sebelum menjalankan program operator harus mengganti data tool 1 untuk memberitahu kontrol. Nilai R pada data tool 1 ditambah 0.02 mm, sehingga nilai radius cutter yang baru adalah 5.02 mm ($5.00 + 0.02$). Setelah proses, operator mengukur ukuran 40 mm dan ternyata ukurannya 40.0185 mm. Data radius pada tool 1 harus dikurangi 0.0185 mm ($40.0185 - 40.0000$) untuk memasukkan ukuran. Sehingga nilai nominal akhir dari kompensasi radius adalah 5.0015 mm ($5.02 - 0.0185$).

Pada contoh ini hanya ada satu sisi yang diproses. Ada kalanya ketika alat potong memproses lebih dari satu permukaan dan operator akan mengukur ukuran keseluruhan (melibatkan 2 permukaan yang diproses) yang diproses oleh alat potong yang sama. Sebagai contoh balok diatas akan diproses pada kedua sisinya, ketika nilai nominal 0.02 mm

ditambahkan pada R data tool 1, maka *cutter* akan mengurangi 0.02 mm pada kedua sisi permukaan. Ketika mengambil ukuran dari ukuran keseluruhan (melibatkan 2 permukaan yang akan diproses dan diukur), operator harus membagi 2 nilai nominal material yang disisakan.

Sebagai contoh jika operator akan memproses kedua sisi balok diatas, ukuran totalnya 40.0374 mm, sisa material yang belum diproses setebal 0.0374 mm. Tetapi nilai nominal ini harus dibagi dua, baru dapat digunakan untuk mengurangi nilai radius *cutter*.

Pada mesin milling vertikal penggunaan kompensasi panjang alat potong digunakan untuk memasukkan ukuran pada sumbu Z (kedalaman). Hal ini dapat dilihat pada penjelasan kompensasi panjang untuk menyisakan material pada *roughing* (proses awal) dan mengambilnya pada *finishing* (proses akhir) berikut ini.

2. Untuk menyisakan benda kerja pada *roughing* (proses kasar) dan pada *finishing* (proses akhir)

Kompensasi radius *cutter* mengijinkan koordinat yang sama untuk *roughing* (proses kasar) dan *finishing* (proses akhir). Hal ini mengurangi jumlah koordinat yang harus dihitung oleh pembuat program.

Sebagai contoh, akan digunakan *cutter end mill roughing* (pada tempat alat potong 1) $\varnothing 10$ mm dan *cutter end mill finishing* (pada tempat alat potong 2) $\varnothing 10$ mm. Kompensasi radius alat potongnya :

T0101 R 5.40 mm ; (menyisakan material setebal 0.40 mm untuk proses *finishing*).

T0202 R 5.00 mm ;

R 5.40 mm menyatakan kompensasi radius *cutter end mill roughing*, dimana nilai nominal 0.40 mm yang lebih besar daripada ukuran *cutter* sebenarnya tersimpan dalam R T0101, sehingga sistem kontrol akan menjaga jarak sumbu *cutter* terhadap benda kerja sebesar 0.40 mm dan akan tersisa material setebal 0.40 in untuk proses *finishing* (proses akhir).

R 5.00 mm menyatakan kompensasi radius *cutter end mill finishing*, dimana nilai nominal ini merupakan radius *cutter* yang sebenarnya, sehingga alat potong ini memasukkan ukuran benda kerja (menghabiskan material yang tersisa) menjadi ukuran yang sesungguhnya.

Kompensasi panjang alat potong dapat juga memberikan *allowance* (sisa material untuk proses *finishing*). Sebagai contoh, akan dibuat sebuah *pocket* dengan kedalaman 10 ± 0.05 mm. Alat potong yang digunakan adalah *end mill* dengan nilai Z pada T0101 adalah - 140.5475. Untuk menyisakan material sebesar 0.2 mm, operator akan menambahkan 0.2 pada nilai Z. Penambahan sebuah angka positif ke nilai negatif akan mengurangi nilai nominal yang sesungguhnya dari nilai minus tersebut. Dalam hal ini, angka yang baru yang tersimpan pada Z untuk T0101 adalah - 140.3475 ($- 140.5475 + 0.2$). Setelah proses pemakanan operator mengukur kedalaman *pocket*, ternyata kedalamannya baru mencapai 9.7915 mm. Dalam hal ini operator mengetahui bahwa masih ada material setebal 0.2085 mm ($10.0000 -$

9.7915) yang terdapat pada bagian dasar *pocket* yang belum terambil. Maka operator akan mengurangi 0.2085 mm pada nilai nominal Z dari T0101, sehingga menjadi - 140.5560 mm (- 140.3475 - 0.2085). Alat potong akan bekerja lagi dan memasukkan ukuran *pocket* yang diinginkan.

Untuk menjauhkan alat potong dari material (membuat *pocket* yang lebih dangkal) nilai nominal kompensasi panjang diperbesar. Sehingga hal ini berakibat spindle semakin jauh dari kedalaman permukaan (Z) yang akan diproses. Untuk membuat alat potong lebih dekat dengan material (membuat *pocket* semakin dalam) nilai nominal kompensasi panjang alat potong diperkecil.

3. Untuk penggunaan diameter *cutter* yang berbeda dari *cutter* yang direncanakan

Sebagai contoh, bila dalam program direncanakan akan menggunakan *cutter* berdiameter 20 mm, tetapi tidak terdapat *cutter* dengan ukuran 20 mm, maka dapat digunakan *cutter* dengan diameter 10 mm dengan mengubah kompensasi radius yang akan digunakan, tanpa mengubah koordinat program untuk benda kerja. Pemanggilan program tanpa menggunakan kompensasi radius bila ukuran *cutter* berubah dari yang direncanakan, maka harus dihitung kembali koordinat sumbu *cutter*.

4. Untuk penentuan arah gerakan pemakanan *cutter*, jika menggunakan konvensional *mill* atau *climb mill*.

Dengan *cutter* beralur kiri (spindle bergerak searah jarum jam / *clock wise* dengan M03), G41 digunakan untuk *climb mill* dan G42 digunakan untuk konvensional milling.

E. Hipotesis

Kompensasi radius, kompensasi panjang dan data alat potong mempengaruhi ketelitian benda kerja pada mesin VMC 200, untuk menyisakan material harus ada penambahan nilai nominal terhadap kompensasi radius *cutter* (membuat nilai nominal semakin besar / plus) dan untuk memasukkan ukuran benda kerja, kompensasi radius *cutter* dikurangi.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Mesin

Mesin milling CNC vertikal VMC - 200.

B. Benda kerja

Alumunium cor  54 x 56 x 30 mm.

Digunakan material alumunium cor karena mudah didapat dan material ini tidak terlalu keras, sehingga resiko kerusakan alat dapat dikurangi.

C. Gambar benda kerja

Dihalaman berikutnya (Gambar 11).

D. Alat potong

a. T0101 *Shell End Mill* Ø 40

b. T0202 *NC Drill* Ø 10

c. T0303 *Twist Dril* Ø 5

d. T0404 *Machine Tap* M6

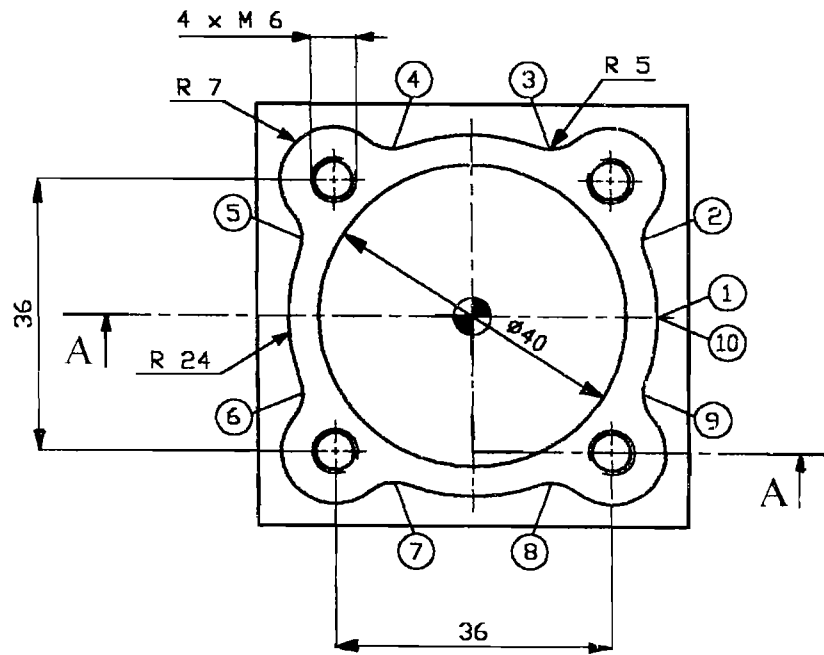
e. T0505 *End Mill* Ø 20

f. T0606 *End Mill* Ø 10

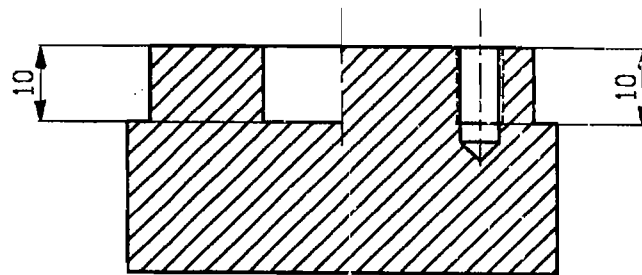
Semua menggunakan *cutter* HSS, karena untuk memproses alumunium cor *HSS cutter* sudah dapat memberikan hasil yang baik dan keenam alat potong telah sering digunakan dalam praktikum.

E. Jalan Penelitian

- a. Pembuatan program
- b. Test run program pada komputer
- c. Transfer program dari komputer ke mesin CNC
- d. Menjalankan mesin
- e. Pengukuran hasil
- f. Pengubahan kompensasi radius dan data alat potong
- g. Pembuatan benda sampai ukuran (toleransi $\pm 0,05$) dan bentuk yang diminta tercapai.



Potongan A - A



Gambar 12. Benda Kerja

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Pembuatan program

a. Urutan pengerjaan

1. Persiapan mesin, parameter dan koordinat kerja.
2. Perataan permukaan benda kerja dengan *Shell End Mill Ø 40*.
3. Pembuatan awalan bor pada pusat *circular pocket* dan keempat lubang ulir, sekaligus pembuatan chamfer 1 x 45 ° untuk ulir M6 dengan *NC drill Ø 10* mm dengan sudut 45° .
4. Pembuatan lubang Ø 5 mm pada pusat *circular pocket* sedalam 10 mm (untuk menjaga kemungkinan *cutter* tidak patah waktu turun saat pembuatan *circular pocket*) dan pada keempat lubang ulir sedalam 23 mm dengan bor diameter 5 mm.
5. Pembuatan ulir M6 pada keempat lubang dengan tap mesin M6.
6. Pembuatan *circular pocket* dengan diameter 40 mm dan sedalam 10 mm.
7. Pembuatan kontur luar (R 24) dengan *end mill Ø 10*.

b. Perhitungan koordinat

1. Pembuatan kontur luar (R24)

Persamaan lingkaran dengan titik pusat (0,0) dan jari-jari lingkaran 24

$$x^2 + y^2 = 24^2 \Leftrightarrow x = \sqrt{24^2 - y^2} \Leftrightarrow x = \sqrt{576 - y^2} \dots\dots(1)$$

Persamaan lingkaran dengan titik pusat (18,18) dan jari-jari lingkaran 7

$$(x-18)^2 + (y-18)^2 = 7^2 \Leftrightarrow (x-18)^2 + (y-18)^2 = 49 \quad \dots\dots(2)$$

Substitusi persamaan (1) ke persamaan (2)

$$\Leftrightarrow (\sqrt{576-y^2}-18)^2 + (y-18)^2 = 49$$

$$\Leftrightarrow (576-y^2-36\sqrt{576-y^2}+324)+(y^2-36y+324)=49$$

$$\Leftrightarrow -36\sqrt{576-y^2}=49-576-324+36y-324$$

$$\Leftrightarrow \frac{-36\sqrt{576-y^2}}{-36} = \frac{-1175+36y}{-36}$$

$$\Leftrightarrow \sqrt{576-y^2} = 32.6388-y$$

$$\Leftrightarrow (\sqrt{576-y^2})^2 = (32.6388-y)^2$$

$$\Leftrightarrow 576-y^2 = 1065.2970-65.2777y+y^2$$

$$\Leftrightarrow 2y^2-65.2777y+1065.2970-576=0$$

$$\Leftrightarrow 2y^2-65.2777y+489.2970=0$$

Diselesaikan dengan rumus a b c :

$$y_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a = 2 \quad b = -65.2777 \quad c = 489.2970$$

$$y_{1,2} = \frac{-(-65.2777) \pm \sqrt{(-65.2777)^2 - 4.(2).(489.2970)}}{2.(2)}$$

$$y_{1,2} = \frac{65.2777 \pm 18.6228}{4}$$

$$y_1=20.9752 \quad y_2=11.6637$$

Dapat dibuat tabel koordinat dari perhitungan koordinat ①

Titik	X	Y	I	J
①	24.000	0.000	-	-
②	20.975	11.664	-24.000	0.000
③	11.664	20.975	-2.975	6.336
④	-11.664	20.975	-11.664	-20.975
⑤	-20.975	11.664	-6.336	-2.975
⑥	-20.975	-11.664	20.975	-11.664
⑦	-11.664	-20.975	2.975	-6.336
⑧	11.664	-20.975	11.664	20.975
⑨	20.975	-11.664	6.336	2.975
⑩	24.000	0.000	-20.975	11.664

c. Program

Program terdiri 2 bagian yaitu program utama dan sub program. Sub program dibuat karena adanya pengulangan beberapa nomor baris (pada pembuatan kontur luar), bila pengulangan ini ditulis akan memperpanjang program, sehingga ditulis dalam bentuk sub program dan dapat dipanggil sesuai dengan keinginan.

Sub program

O0081

N0000	G00	W	-2.000			
N0010	G01	X	24.000	Y	0.000	G42 F100
N0020	G03	X	20.975	Y	11.664	I -24.000 J 0.000
N0030	G03	X	11.664	Y	20.975	I -2.975 J 6.336
N0040	G03	X	-11.664	Y	20.975	I -11.664 J -20.975
N0050	G03	X	-20.975	Y	11.664	I -6.336 J -2.975
N0060	G03	X	-20.975	Y	-11.664	I 20.975 J -11.664
N0070	G03	X	-11.664	Y	-20.975	I 2.975 J -6.336
N0080	G03	X	11.664	Y	-20.975	I 11.664 J 20.975
N0090	G03	X	20.975	Y	-11.664	I 6.336 J 2.975
N0100	G03	X	24.000	Y	0.000	I -20.975 J 11.664
N0110	G01	X	35.000	G40		
N0120	M17					

Program utama

O0001

N0000	G54				
N0010	G92	X	27.000	Y	28.000 Z 12.000
N0020	G59				
N0030	T0101	M03	S	600	F 100 M08
N0040	G00	X	50.000	Y	-13.000 Z 0.000
N0050	G01	X	-50.000	F	100

N0060	G00		Y 13.000		
N0070	G01	X 50.000			
N0080	G00	Z 50.000			
N0090	T0202	S 600	F 80		
N0100	G00	X 0.000	Y 0.000	Z 2.000	
N0110	G81	Z -2.000			
N0120	G00	Z 2.000			
N0130	G74	X -18.000	Y -18.000	P0=36.000	D0=2
		P1=36.000	D1=2		
N0140	G75	G81	Z -3.000		
N0150	G00	Z 50.000			
N0160	T0303	S 1000	F 80		
N0170	G00	X 0.000	Y 0.000	Z 2.000	
N0180	G83	Z -10.000	P3=1.000	D3=3000	
N0190	G00	Z 2.000			
N0200	G75	G83	Z -23.000	P3=1.000	D3=3000
N0210	G00	Z 50.000			
N0220	T0404	S 100	F 1000		
N0230	G00	X 0.000	Y 0.000	Z 5.000	
N0240	G74	X -18.000	Y -18.000	P0=36.000	D0=2
		P1=36.000	D1=2		
N0250	G75	G84	Z -8.000	F 1000	P3=5.000
N0260	G00	Z 50.000			
N0270	T0505	S 800	F 100		

```

N0280  G00      X 0.000   Y 0.000   Z 2.000
N0290  G88      X 0.000   Y 0.000   Z -10.000  P1 = 40.000
        D3=1500  P3=1.000
N0300  G00      Z 50.000
N0310  T0606   S 1000    F 100
N0320  G00      X 35.000
N0330                                Z 0.000
N0340  G25      L8105
N0350  G00      Z 50.000
N0360  G00      X 100.000  Y 100.000
N0370  T0000   G53      G56      M05      M09
N0380  M30

```

Penjelasan sub program :

Baris	Arti
N0000	<i>Cutter</i> bergerak turun ke bawah dengan cepat sampai kedalaman 2 mm (inkremental).
N0010	<i>Cutter</i> bergerak lurus ke posisi ① (24.000 , 0.000), di sebelah kanan benda kerja (G42) dengan <i>feeding</i> 100.
N0020	<i>Cutter</i> bergerak melengkung berlawanan arah jarum jam ke posisi ② (20.975 , 11.664), dengan titik pusat lingkaran (-24.000 , 0.000).
N0030	<i>Cutter</i> bergerak melengkung berlawanan arah jarum jam ke

- posisi ③ (11.664 , 20.975), dengan titik pusat lingkaran (-2.975 , 6.336).
- N0040 *Cutter* bergerak melengkung berlawanan arah jarum jam ke posisi ④ (-11.664 , 20.975), dengan titik pusat lingkaran (-11.664 , 20.975).
- N0050 *Cutter* bergerak melengkung berlawanan arah jarum jam ke posisi ⑤ (-20.975 , 11.664), dengan titik pusat lingkaran (-6.336 , -2.975).
- N0060 *Cutter* bergerak melengkung berlawanan arah jarum jam ke posisi ⑥ (-20.975 , -11.664), dengan titik pusat lingkaran (20.975 , -11.664).
- N0070 *Cutter* bergerak melengkung berlawanan arah jarum jam ke posisi ⑦ (-11.664 , -20.975), dengan titik pusat lingkaran (2.975 , -6.336).
- N0080 *Cutter* bergerak melengkung berlawanan arah jarum jam ke posisi ⑧ (11.664 , -20.975), dengan titik pusat lingkaran (11.664 , 20.975).
- N0090 *Cutter* bergerak melengkung berlawanan arah jarum jam ke posisi ⑨ (20.975 , -11.664), dengan titik pusat lingkaran (6.336 , 2.975).
- N0100 *Cutter* bergerak melengkung berlawanan arah jarum jam ke

posisi ⑩ (24.000 , 0.000), dengan titik pusat lingkaran (-20.975 , 11.664).

N0110 *Cutter* bergerak lurus ke posisi (35.000 , 0.00) dan membatalkan kompensasi radius *cutter* (G40).

N0120 Kembali ke program utama.

Penjelasan program utama

Baris Arti

N0000 Pergeseran titik nol mesin (dari kiri depan meja) ke bagian tetap tanggem (kiri depan atas dari *fixed jaw*).

N0010 Pergeseran titik nol mesin dari bagian tetap tanggem (kiri depan dari *fixed jaw*) ke x 27.000 dan y 28.000 .

N0020 Pengaktifan G92 (pada baris N0010).

N0030 Penggantian dan pengaktifan alat potong 1, memutar spindle searah jarum jam, dengan kecepatan 600 rpm, feed rate 100 dan menghidupkan cairan pendingin.

N0040 sampai dengan N0070 meratakan permukaan benda kerja.

N0080 *Cutter* ditarik keatas.

N0090 Penggantian dan pengaktifan alat potong nomor 2, memutar spindle dengan kecepatan 600 rpm, feed rate 80.

N0100 Mendekatkan *cutter* pada permukaan benda kerja.

N0110 Membuat awalan untuk lubang bor pada *centre circular pocket* dengan pengeboran biasa, agar pada waktu *cutter* turun (pembuatan *pocket*) tidak patah, untuk :

z = kedalaman bor (mm);

Kedalaman awal bor 2 mm.

N0120 *Cutter* ditarik keatas 2 mm.

N0130 Definisi pola pengeboran persegi panjang untuk ;

x , y adalah koordinat lubang pertama;

$P0$ = jarak lubang berikutnya (dalam arah horisontal atau sumbu
 x) dalam satuan mm;

$D0$ = jumlah lubang dalam arah horisontal;

$P1$ = jarak lubang berikutnya (dalam arah vertikal atau sumbu
 y) dalam satuan mm;

$D1$ = jumlah lubang dalam arah vertikal.

Definisi pola pengeboran persegi panjang , koordinat lubang pertama x -18.000 y -18.000, jarak lubang dalam arah x 36.000 mm, jumlah lubang dalam arah x adalah 2, jarak lubang dalam arah y 36.000 mm, dan jumlah lubang dalam arah y adalah 2.

N0140 Pengaktifan pola persegi panjang dengan pengeboran biasa sampai kedalaman 3 mm pada keempat lubang tap M6.

N0150 *Cutter* ditarik keatas.

N0160 Penggantian dan pengaktifan alat potong 3, memutar spindle dengan kecepatan 1000 rpm, feed rate 80.

N0170 Mendekatkan *cutter* pada permukaan benda kerja.

N0180 Membuat awalan dengan lubang bor pada *centre pocket* sedalam 10 mm, agar pada waktu *cutter* turun (pembuatan

pocket) tidak patah. G83 adalah pengeboran lubang yang dalam dan bor ditarik keatas sedikit untuk memutus dan mengeluarkan tatal untuk ;

z = kedalaman lubang (mm);

$P3$ = jarak bor dengan permukaan benda kerja (setelah G00);

$D3$ = kedalaman pemakanan bor (μm).

Kedalaman lubang 10 mm, jarak bor dengan permukaan benda kerja 1 mm (setelah G00), kedalaman pemakanan bor 3 mm.

N0190 *Cutter* ditarik keatas 2 mm.

N0200 Pengaktifan pola pengeboran persegi panjang dengan pengeboran lubang dalam (disertai dengan penarikan bor, G83) pada keempat lubang tap M6 sedalam 23 mm.

Kedalaman lubang 23 mm, jarak bor dengan permukaan benda kerja 1 mm (setelah G00), kedalaman pemakanan bor 3 mm.

N0210 *Cutter* ditarik keatas.

N0220 Penggantian dan pengaktifan alat potong 4, memutar spindle dengan kecepatan 100 rpm, feed rate 1000.

N0230 Mendekatkan *cutter* pada permukaan benda kerja.

N0240 Definisi pola pengeboran persegi panjang (sama dengan N0130).

N0250 Pengaktifan pola pengeboran persegi panjang dengan pembuatan ulir (*taping*) untuk ;

z = kedalaman ulir (mm);

F = jarak kisar ulir (μm);

P3 = jarak tap mesin dengan benda kerja setelah proses selesai.

Kedalaman ulir 8 mm, jarak kisar ulir M6 adalah 1 mm, jarak tap mesin dengan benda kerja 5 mm.

- N0260 *Cutter* ditarik keatas.
- N0270 Penggantian dan pengaktifan alat potong 5, memutar spindle dengan kecepatan 800 rpm, feed rate 100.
- N0280 Mendekatkan *cutter* pada permukaan benda kerja.
- N0290 Pembuatan *circular pocket* dimana ;
 x, y = koordinat pusat *circular pocket*;
 z = kedalaman *circular pocket* (mm);
 $P1$ = diameter *circular pocket* (mm);
 $D3$ = kedalaman pemakanan vertikal (μm);
 $P3$ = jarak *cutter* dengan permukaan benda kerja setelah proses selesai (mm).
- Koordinat pusat *circular pocket* pada $x\ 0.000$ $y\ 0.000$,
kedalaman *circular pocket* 10 mm, diameter *circular pocket* 40.000 mm, kedalaman pemakanan vertikal 1.5 mm, jarak *cutter* dengan permukaan benda kerja 1 mm.
- N0300 *Cutter* ditarik keatas.
- N0310 Penggantian dan pengaktifan alat potong 6, memutar spindle dengan kecepatan 1000 rpm, feed rate 100.
- N0320 Penempatan *cutter* pada posisi $x\ 35.000$.
- N0330 Mendekatkan *cutter* pada permukaan benda kerja.

- N0340 Pembuatan kontur luar dengan memanggil sub program O81 dengan pengulangan 5 kali.
- N0350 *Cutter* ditarik keatas.
- N0360 *Cutter* diposisikan pada x 100.000 y 100.00 .
- N0370 Alat potong dinon-aktifkan, pembatalan G54, pembatalan G59, spindle dimatikan dan cairan pendingin dimatikan.
- N0380 Akhir program.

d. Test run pada komputer

Setelah program selesai diedit pada komputer, disimulasikan pada sistem kontrol EMCO dan hasilnya sesuai dengan gambar. Kemudian program dan sub program ditransfer ke mesin CNC.

2. Proses permesinan

1. Setting alat potong pada *arbor* masing-masing.
2. Setting alat potong beserta *arbor* pada *turret*.
3. Setting ketinggian alat potong dengan *dial*.
4. Setting ketinggian dan referensi benda kerja.

5. Pemakanan pertama dengan data tool sebagai berikut :

Posisi	Alat potong	X	Z	R	Hasil
T0101	SEMF Ø 40	0	-106.672	20	-
T0202	NC Ø 10	0	-150.095	0	-
T0303	TD Ø 5	0	-171.472	0	5.1
T0404	Tap M6	0	-169.267	0	-
T0505	EMF Ø 20	0	-161.792	10	Ø 39.96 ; Ø40.08
T0606	EMF Ø 10	0	-142.337	5	48

Posisi kontur terbentuk pada ujung kiri depan material awal. Z 13.5 merupakan tebal material awal yang menonjol diatas tanggem dikurangi 1 mm untuk meratakan permukaan. Diameter yang terbentuk dari *circular pocket* tidak bulat sempurna (ukuran yang terjadi tidak simetris) dan melebihi toleransi maksimal, maka kompensasi radius untuk pemakanan kedua ditambah untuk memperkecil diameter yang terbentuk. Untuk mengurangi bentuk oval diameter *circular pocket*, dicoba untuk mengurangi *feeding / feed rate* pada proses pembuatan *circular pocket*.

Hasil proses pembuatan *circular pocket* dengan kedalaman 10.02 mm. Kedalaman kontur luar juga 10.02 mm. Ukuran kedalaman yang dihasilkan cukup baik karena pada waktu *setting* panjang alat potong (semua alat dari T0101 s/d T0606, khususnya *End Mill Ø 20 dan Ø 10*) menggunakan dial indikator yang menjamin ketelitian hasil ukuran yang terjadi. Untuk proses selanjutnya hasil ukuran kedalaman dianggap sudah memenuhi syarat.

6. Pemakanan kedua dengan data tool sebagai berikut :

Posisi	Alat potong	X	Z	R	Hasil
T0101	SEMF Ø 40	0	-106.672	20	-
T0202	NC Ø 10	0	-150.095	0	-
T0303	TD Ø 5	0	-171.472	0	5.1
T0404	Tap M6	0	-169.267	0	-
T0505	EMF Ø 20	0	-161.792	10.03	Ø39.88 ; Ø39.98
T0606	EMF Ø 10	0	-142.337	5	48

Posisi kontur terbentuk berada pada tengah-tengah material awal. Z 12.5 merupakan tebal material awal yang menonjol diatas tanggem dikurangi 1 mm untuk meratakan permukaan. Diameter *circular pocket* tidak bulat sempurna (ukuran yang terjadi tidak simetris), meski *feeding / feed rate* dikurangi hasilnya tetap tidak simetris, sehingga dicoba untuk ganti tool (T0505 dengan *cutter* sejenis, untuk pemakanan ketiga). Dari penambahan koreksi sebesar 0.03 ($10.000 + 0.03 = 10.03$) diharapkan Ø 39.96 menjadi Ø 39.90 ($39.96 - (2 \times 0.03)$) dan Ø 40.08 menjadi Ø40.02 ($40.08 - (2 \times 0.03)$). Hasil pemakanan kedua ini menunjukkan terjadinya Ø 39.88 dan Ø 39.98, hal ini menunjukkan bahwa diameter yang terjadi berkurang sesuai harapan tetapi bentuk oval dari *circular pocket* ternyata tidak berubah, sehingga diperkirakan bentuk *cutter* sebagai penyebabnya. Dari pemakanan kedua dapat disimpulkan bahwa *feeding* yang diperkecil tidak mempengaruhi bentuk oval *circular pocket*.

7. Pemakanan ketiga dengan data tool sebagai berikut :

Posisi	Alat potong	X	Z	R	Hasil
T0101	SEMF Ø 40	0	-106.672	20	-
T0202	NC Ø 10	0	-150.095	0	-
T0303	TD Ø 5	0	-171.472	0	5.1
T0404	Tap M6	0	-169.267	0	-
T0505	EMF Ø 20	0	-145.190	10	Ø39.90;Ø40.00
T0606	EMF Ø 10	0	-142.337	5	48

Untuk pemakanan ketiga dilakukan penggantian *end mill cutter* Ø 20, dan kedalaman ulir dibuat hanya 5 mm. Ukuran diameter *cutter* sebenarnya 19.96, sehingga radius *cutter* 9.98. Diharapkan bentuk oval *circular pocket* masuk ukuran $\text{Ø } 40 \pm 0.05$, sehingga perlu penambahan nilai 0.02 pada kompensasi radius *cutter* sehingga nilai radius *cutter* berubah menjadi 10.00 (9.98+0.02). Ukuran yang diharapkan adalah Ø 39.96 mm (40.00 - (2 x 0.02)). Hasil pemakanan ketiga ini menunjukkan terjadinya Ø 40.00 dan Ø 39.90, hal ini menunjukkan bahwa diameter yang terjadi berkurang mendekati harapan tetapi bentuk oval dari *circular pocket* ternyata tetap tidak berubah, sehingga diperkirakan alur ekor burung (*dove tail*) dari spindle (sumbu z) yang agak kocak sebagai penyebabnya. Dari pemakanan ketiga dapat disimpulkan bahwa alur ekor burung (*dove tail*) dari spindle (sumbu z) yang agak kocak yang mempengaruhi bentuk oval *circular pocket*.

8. Pemakanan keempat.

Pemakanan keempat ini hanya merubah kedalaman ulir menjadi 10 mm. Hasil pemakanan keempat ini menunjukkan terjadinya \varnothing 40.00 dan \varnothing 39.90, hal ini menunjukkan bahwa diameter yang terjadi berkurang mendekati harapan tetapi bentuk oval dari *circular pocket* ternyata tetap tidak berubah, sehingga alur ekor burung (*dove tail*) dari spindle (sumbu z) yang agak kocak sebagai penyebabnya.

BAB V

PENUTUP



A. Kesimpulan

1. Kompensasi radius dan data alat potong mempengaruhi ketelitian benda kerja pada mesin VMC 200, untuk memperbesar ukuran hasil pengerjaan harus ada penambahan nilai nominal terhadap kompensasi radius *cutter* (membuat nilai nominal semakin besar / plus) dan untuk mengurangi ukuran hasil pengerjaan, kompensasi radius *cutter* dikurangi.
2. Apabila radius alat potong pada data alat potong ditambah (lebih besar dari ukuran *cutter* yang sebenarnya), semakin kecil ukuran diameter dalam *circular pocket* yang terbentuk.
3. Ketelitian mesin CNC VMC-200 dari empat kali pemakanan (dari pembuatan *circular pocket*) adalah 0.10 mm, hal ini dikarenakan alur ekor burung (*dove tail*) dari spindle (sumbu z) agak kocak.
4. Bentuk *circular pocket* yang oval terjadi karena alur ekor burung (*dove tail*) dari spindle (sumbu z) agak kocak dan tidak tergantung *feeding* (kecepatan pemakanan) dan alat potong (*end mill cutter* Ø 20).

B. Saran

1. Untuk pengerjaan *circular pocket* yang baik (ketelitian tinggi dan kesentrisan yang baik) sebaiknya digunakan *boring tool*. Sebelumnya ukuran dapat di *roughing* (proses kasar) dengan program *circular pocket* dengan

memberikan sisa material ± 0.5 mm selanjutnya alat potong diganti dengan *boring tool* dan dimasukkan ukuran yang sebenarnya

2. Untuk pembuatan program dari benda kerja dengan bentuk kontur yang sulit atau proses pemakanan yang melibatkan tiga sumbu sekaligus (X, Y dan Z), dapat menggunakan program CAM (Computer Aided Manufacturing), sehingga mempermudah proses pembuatan program. Dengan program CAM, pembuat program hanya membuat gambar pada komputer dan komputer dapat membuat program sehingga tidak perlu menentukan koordinat benda kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Amsted, B.H., Ostwald, Philip F. and Begeman, Mryron L., *Manufacturing Processes*, diterjemahkan oleh Bambang Priambodo, 1992, edisi ke-3, 161, 181-182, Erlangga, Jakarta.
- Amsted, B.H., Ostwald, Philip F. and Begeman, Mryron L., *Manufacturing Processes*, diterjemahkan oleh Sriati Djaprie, 1993, edisi ke-4, 4-6, Erlangga, Jakarta.
- DeGarmo, Ernest Paul, 1997, *Material and Processes in Manufacturing*, 8th ed., 622, 624-626, 628, 629, Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458, USA.
- Groover, Mikell P., 1996, *Fundamentals of Modern Manufacturing : Materials, Processes and Sytems*, 575, 579, 580, Prentice Hali Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458, USA.
- Kibbe, Richard R., 1995, *Machine Tool Practices*, 5th ed., 547, 553-558, 568, Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458, USA.
- Lynch, Mike, 1993, *Computer Numerical Control Advanced Techniques*, 179, 182 - 188, McGraw-Hill Inc., New York.
- MAIER, EMCO, 1990, *Student's Hand Book EMCO VMC - 200*, 4/0 - 4/4, 6/G40-G42-1, 6/G40-G42-3, EMCO MAIER Ges.m.b.H, P.O. BOX 131 A-5400 Hallein, Austria.

