

**THE EFFECTS OF D4 AND D5 PARAMETERS
ON CIRCULAR POCKET MILLING CYCLE
ON VMC 200 MACHINE**

Nomor Soal: 195 / FT.USD /TM / Oktober / 2001

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Mesin



Oleh :

Albertus Prasetyo Hanggoro

NIM : 995214166

NIRM : 993051123109120166

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SANATA DHARMA

YOGYAKARTA

2002



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS SANATA DHARMA

Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman – Yogyakarta
Telp. (0274) 883037, 886530; Fax. (0274) 886529; Email: teknik@usd.ac.id

TUGAS AKHIR PROGRAM S-1 JURUSAN TEKNIK MESIN

Nomor : 195 / FT.USD / TM / Oktober / 2001

Diberikan kepada :
Nama Mahasiswa : Albertus Prasetyo Hanggoro
Nomor Mahasiswa : 995214166
NIRM : 993051123109120166
Jurusan : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Mata kuliah : Mesin CNC dan CAD/CAM
Judul / naskah soal :

Analisis Pengerjaan Pocketing dengan parameter D5 dan D4 yang berbeda pada mesin VMC 200

Tanggal dimulai : 27 Oktober 2001

Dosen Pembimbing Kedua

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

Yogyakarta, 30 Oktober 2001
Dosen Pembimbing Utama

(Ir. Subarmono, M.T.)



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UNIVERSITAS SANATA DHARMA

Kampus III, Paingan Maguwoharjo, Sleman – Yogyakarta
Telp. (0274) 883037, 886530; Fax: (0274) 886529; Email: teknik@usd.ac.id

LEMBAR KONSULTASI TUGAS AKHIR

Nomor : 195 / FT.USD / TM / Oktober / 2001

Nama Mahasiswa : Albertus Prasetyo Hanggoro

Nomor Mahasiswa : 995214166

NIRM : 993051123109120166

Matakuliah : Mesin CNC dan CAD/CAM

Judul / naskah soal :

Analisis Pengerjaan Pocketing dengan parameter D5 dan D4 yang berbeda pada mesin VMC 200

Tanggal dimulai : 27 Oktober 2001

mbimbing Utama : Ir. Subarmono, M.T.

mbimbing Kedua : RB. Dwiseno Wihadi, S.T., M.Si.

O	TGL	URAIAN	KETERANGAN	TANDA TANGAN
	16/05/2002	Pendahuluan + landasan Teori	perbaikan	
	20/5	Pendahuluan	acc	
	27/6	Persiapan penelitian	acc	
	22/8	Dari Pendahuluan → kesimpulan	acc.	
	19/8	Bab <u>IV</u> & <u>V</u>	acc	
	21/8	Bab <u>I</u> - <u>V</u>	acc	
	26/8	Hal judul - lampiran	acc	
	31/8	keseluruhan	acc	

TUGAS AKHIR

Nomor Soal : 195 / FT.USD / TM / Oktober / 2001

**THE EFFECTS OF D4 AND D5 PARAMETERS
ON CIRCULAR POCKET MILLING CYCLE
ON VMC 200 MACHINE**

Oleh :

Albertus Prasetyo Hanggoro

NIM : 995214166

NIRM : 993051123109120166

Telah disetujui oleh :

Pembimbing I



(Ir. Subarmono, M.T.)

tanggal... 7 - 9 - 2002 .

Pembimbing II



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

tanggal... 7 Sept 2002

TUGAS AKHIR

Nomor Soal : 195 / FT.USD / TM / Oktober / 2001

**THE EFFECTS OF D4 AND D5 PARAMETERS
ON CIRCULAR POCKET MILLING CYCLE
ON VMC 200 MACHINE**

Dipersiapkan dan ditulis oleh :

Albertus Prasetyo Hanggoro

NIM : 995214166

NIRM : 993051123109120166

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

Susunan Panitia Penguji

	Nama lengkap	Tanda tangan
Ketua	Ir. Samsudin	
Sekretaris	Ir. Greg Harjanto	
Anggota 1	Ir. Subarmono, M.T	
Anggota 2	RB. Dwiseno Wihadi, S.T., M.Si.	
Anggota 3	Budi Sugiharto, S.T., M.T.	

Yogyakarta, 21 September 2002

Fakultas Teknik

Universitas Sanata Dharma

Dekan



(Ir. Greg. Harjanto)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala perkara dapat kutanggung di dalam Dia yang memberi kekuatan kepadaku
(Filipi 4 : 13)

BERTOALAH SEAKAN-AKAN KERJA TIDAK AKAN MENOLONG,
DAN BEKERJALAH SEAKAN-AKAN DOA TIDAK AKAN MENOLONG

(PEPATAH JERMAN)

Kupersembahkan karyaku ini untuk :

Allah Papa Maha Kuasa Yang Bertahta di Singgasana Surga Maha Mulia

Mami dan Nenekku tercinta yang telah kembali ke kerajaannya

Papi dan kasih sayangnya kepadaku

Kakak-kakakku dan keponakan-keponakanku tersayang

Sari yang menyayangiku dan membuat hidupku lebih berarti

PERNYATAAN KEASLIAN NASKAH

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

Yogyakarta, September 2002

Penulis

(Albertus Prasetyo Hanggoro)

ABSTRAKSI

Sistem komputerisasi pada mesin CNC memungkinkan untuk memproduksi benda kerja yang rumit dalam waktu yang singkat dan mudah, operator mesin hanya perlu memasukkan kode, fungsi dan parameter tertentu untuk mendapatkan benda kerja yang diinginkan. Dapat diambil contoh yaitu proses pengerjaan *pocket* (kantong) dengan menggunakan mesin milling CNC, pada mesin CNC akan terdapat berbagai pilihan parameter dalam satu kode program, pemilihan parameter yang berbeda dalam proses pengerjaan seperti arah gerakan pemakanan dan pengaturan kecepatan pemakanan yang berlainan menyebabkan hasil dan waktu pengerjaan yang dicapai akan bervariasi pula.

Dengan melihat latar belakang yang telah diuraikan seperti diatas maka akan timbul permasalahan yaitu, bagaimana memilih parameter dengan pengaruh yang berbeda, untuk digunakan dalam proses pengerjaan agar mendapatkan hasil yang baik dan dalam waktu yang singkat.

Untuk menjawab permasalahan tersebut maka dilakukan penelitian yang bertujuan untuk melihat dan membandingkan hasil serta selisih waktu pengerjaan terutama dalam hal ini pengaruh parameter D5 (arah pemakanan) dan D4 (kecepatan pemakanan terluar) yang berbeda pada mesin VMC 200 untuk proses pengerjaan kantong melingkar, sehingga dapat diambil parameter yang terbaik dalam melakukan proses produksi. Penelitian yang dilakukan sebanyak delapan kali, empat kantong melingkar untuk melihat pengaruh perbedaan D5 dan D4 pada bagian dinding, dan empat yang lain untuk melihat pengaruh perbedaan D5 dan D4 untuk permukaan dasar kantong melingkar.

Adapun kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan penelitian tersebut adalah, bahwa dengan menggunakan parameter $D5 = 2$ (pemakanan mendaki) dan $D4 = 1$ (kecepatan pemakanan radius terluar setengah dari kecepatan pemakanan nominal) akan menghasilkan kualitas permukaan yang lebih baik, tetapi memerlukan waktu pengerjaan yang lebih lama, daripada apabila menggunakan parameter-parameter yang lain, seperti menggunakan parameter $D5 = 3$ dan $D4 = 0$.

ABSTRACT

Computerize system on CNC machine enable to produce complicated worked object in easy way and in a short time. The machine operator just input certain code, function, parameter to get worked object. For example pocketing process using CNC milling. At the CNC machine, there are many choices for parameters in one program code. Different choice of parameters in working process such as, different mill direction and different feed rate lead different result and various productions time. There will be some problem regarding background describe above which is how to select parameters for different effect in pocketing process in order to produce worked object that in good result and in a short time.

To response for that problem, it was carried out a research to observe and to compare result and working time differences, at different parameter D5 (mill direction) and D4 (feed rate for outer radius) on machine VMC 200 to process circle pocket. The research has done for eight pocket, four pocket using different D4 and D5 parameter for the analysis of side part from circular pocket and the other pocket used for analyzing the circular pocket surface.

The conclusion base on laboratory research is, in circular pocketing process using VMC 200, compare if we used the other parameters such as, used parameter $D5 = 3$ and $D4 = 0$ the best result but take a longer time working process is using parameter $D5 = 2$ (climb milling) and parameter $D4 = 1$ (feed rate for outer radius is half of nominal feed rate),

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa melimpahkan rahmat dan karuniaNya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Tugas akhir merupakan salah satu syarat yang wajib ditempuh setiap mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Mesin.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dari semua pihak, penulis tidak dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis baik berupa bimbingan, pengarahan, petunjuk-petunjuk, kerjasama, kritikan maupun saran.

Pada kesempatan ini pula, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang tak terhingga kepada:

1. Bapak Ir. Greg Harjanto selaku Dekan Fakultas Teknik.
2. Bapak Budi Setyahandana, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
3. Bapak Ir. Subarmono, M.T. selaku pembimbing pertama yang telah meluangkan waktunya untuk memberi pengarahan dan tuntunan kepada penulis.
4. Bapak RB. Dwiseno Wihadi, S.T., M.Si. selaku pembimbing kedua yang telah membuka wawasan dan pemikiran penulis terutama menyangkut masalah teknis dalam pembuatan tugas akhir ini.

5. Semua staf laboratorium Teknik Mesin Universitas Gajah Mada terutama Mas Basuki untuk semua bantuannya dalam penelitian.
6. Semua staf sekretariat untuk semua bantuannya demi kelancaran penyusunan tugas akhir ini.
7. Keluarga Bapak Siswanto Ungaran atas perhatian dan dukungannya.
8. Semua rekan-rekan yang tiada hentinya memberi dukungan kepada penulis hingga terselesainya tugas akhir, terutama untuk Kristin, Kriyiph, Yolanda, Kodrat dalam terapi refreshingnya, Dedi dalam latihan jasmaninya, BFC dan X'Pecinan untuk semua kebersamaannya.

Semoga segala kebaikan yang telah disumbangkan kepada penulis mendapat imbalan dari Tuhan Yang Maha Esa, maka pada kesempatan ini penulis juga memohon maaf yang sebesar-besarnya atas kekeliruan dan kesalahan yang penulis perbuat baik yang yang disengaja maupun tidak kepada semua pihak.

Penulis juga menyadari keterbatasan kemampuan penulis untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik, sehingga masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan.

Harapan penulis, kiranya semua pihak dapat memberikan kritik dan saran yang membangun untuk kebaikan penulis dimasa yang akan datang. Semoga penulisan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Yogyakarta, September 2002

Penulis

DAFTAR ISI



	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN SOAL.....	ii
HALAMAN KONSULTASI TUGAS AKHIR.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA.....	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Permasalahan.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
BAB II LANDASAN TEORI DAN HIPOTESA.....	6
2.1 Pengantar mesin CNC dan mesin milling konvensional.....	6
2.1.1 Uraian awal tentang mesin milling.....	7
2.1.2 Uraian dasar NC dan CNC.....	10

2.2	Mesin CNC VMC 200	13
2.2.1	Pengenalan CNC VMC 200.....	13
2.2.2	Pengoperasian secara manual	13
2.2.3	Struktur program.....	15
2.2.4	Pemrograman Mesin CNC VMC 200	17
2.3	Pemrograman harga absolut dan inkremental.....	18
2.3.1	Pemrograman absolut.....	18
2.3.2	Pemrograman inkremental	19
2.4	Setting benda kerja	19
2.4.1	Pencekaman benda kerja	19
2.4.2	Menentukan titik referensi benda kerja.....	23
2.5	Alat potong.....	24
2.5.1	Material alat potong.....	25
2.5.2	Alat pelubang.....	29
2.5.3	Alat potong/cutter	32
2.6	Setting alat potong	35
2.7	Kedalaman pemotongan (<i>depth of cut</i>), kecepatan potong (<i>cutting speed</i>), kecepatan pemakanan (<i>feed rate</i>).....	36
2.7.1	Kedalaman pemotongan (<i>Depth of Cut</i>)	37
2.7.2	Kecepatan potong (<i>Cutting Speeds</i>)	37
2.7.3	Kecepatan pemakanan (<i>Feed rate</i>)	38
2.8	Kekasaran Permukaan.....	41
2.8.1	Definisi Kekasaran.....	41
2.8.2	Penyimpangan rata-rata aritmatik dari garis-garis	

profil.....	41
2.8.3 Ketidak rataan ketinggian sepuluh titik R_z	42
2.8.4 Ketidak rataan ketinggian maksimum R_{max}	43
2.8.5 Harga-harga R_a dan R_z	44
2.8.6 Harga-harga untuk panjang contoh (sample) l	47
2.9 Hipotesa	48
BAB III METODE PENELITIAN.....	49
3.1 Bahan Penelitian.....	49
3.2 Alat yang dipergunakan.....	49
3.3 Pelaksanaan penelitian	50
3.3.1 Penentuan kecepatan pemakanan dan kecepatan spindel dalam proses pengerjaan	52
3.4 Penjelasan program.....	55
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	59
4.1 Hasil Penelitian.....	59
4.2 Pembahasan	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	74
5.1 Kesimpulan.....	74
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	77
Lampiran 1 : Gambar dan data mesin VMC 200.....	78
Lampiran 2 : G – 88 <i>Circular pocket milling cycle</i>	79

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Penyimpangan aritmatik rata-rata R_a (satuan : mikrometer)	44
2.2 Ketidak rataan ketinggian sepuluh titik R_z	45
2.3 Hubungan antara R_a , R_z , R_{max} (satuan : mikrometer)	45
2.4 Panjang contoh l (satuan : mikrometer)	47
2.5 Hubungan antara panjang contoh l dan kekasaran permukaan. (JIS B0601)	47
3.1 Kecepatan potong untuk material yang umum digunakan	54
3.2 Kecepatan pemakanan <i>cutter end milling</i> HSS	54
4.1 Hasil pengerjaan dinding dengan parameter $D4 = 0$ dan $D5 = 2$ Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm	60
4.2 Hasil pengerjaan dinding dengan parameter $D4 = 0$ dan $D5 = 3$ Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm	60
4.3 Hasil pengerjaan dinding dengan parameter $D4 = 1$ dan $D5 = 2$ Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm	61
4.4 Hasil pengerjaan dinding dengan parameter $D4 = 1$ dan $D5 = 3$ Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm	61
4.5 Hasil pengerjaan permukaan dengan parameter $D4 = 0$ dan $D5 = 2$ Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm	61
4.6 Hasil pengerjaan permukaan dengan parameter $D4 = 0$ dan $D5 = 3$ Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm	62
4.7 Hasil pengerjaan permukaan dengan parameter $D4 = 1$ dan $D5 = 2$	

	Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm.....	62
4.8	Hasil pengerjaan permukaan dengan parameter $D4 = 1$ dan $D5 = 3$ Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm.....	62
4.9	Waktu pengerjaan dengan parameter $D4 = 0$ dan $D5 = 2$ Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm.....	63
4.10	Waktu pengerjaan dengan parameter $D4 = 0$ dan $D5 = 3$ Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm.....	63
4.11	Waktu pengerjaan dengan parameter $D4 = 1$ dan $D5 = 2$ Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm.....	63
4.12	Waktu pengerjaan dengan parameter $D4 = 1$ dan $D5 = 3$ Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm.....	63
4.13	Harga kekasaran rata-rata pengerjaan dinding dengan parameter $D4 = 0$ dan $D5 = 2$ Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm.....	64
4.14	Harga kekasaran rata-rata pengerjaan dinding dengan parameter $D4 = 0$ dan $D5 = 3$ Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm.....	64
4.15	Harga kekasaran rata-rata pengerjaan dinding dengan parameter $D4 = 1$ dan $D5 = 2$ Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm.....	65
4.16	Harga kekasaran rata-rata pengerjaan dinding dengan parameter $D4 = 1$ dan $D5 = 3$ Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm.....	65
4.17	Harga kekasaran rata-rata pengerjaan permukaan	

	dengan parameter $D4 = 0$ dan $D5 = 2$	
	Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm.....	65
4.18	Harga kekasaran rata-rata pengerjaan permukaan dengan parameter $D4 = 0$ dan $D5 = 3$	
	Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm.....	66
4.19	Harga kekasaran rata-rata pengerjaan permukaan dengan parameter $D4 = 1$ dan $D5 = 2$	
	Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm.....	66
4.20	Harga kekasaran rata-rata pengerjaan permukaan dengan parameter $D4 = 1$ dan $D5 = 3$	
	Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm.....	66
4.21	Waktu pengerjaan rata-rata dengan parameter $D4 = 0$ dan $D5 = 2$	
	Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm.....	67
4.22	Waktu pengerjaan rata-rata dengan parameter $D4 = 0$ dan $D5 = 3$	
	Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm.....	67
4.23	Waktu pengerjaan rata-rata dengan parameter $D4 = 1$ dan $D5 = 2$	
	Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm.....	67
4.24	Waktu pengerjaan rata-rata dengan parameter $D4 = 1$ dan $D5 = 3$	
	Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm.....	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Mesin milling vertikal, plano, horisontal.....	8
2.2 Arah gerakan sumbu mesin milling.....	10
2.3 <i>Control Unit</i> VMC 200.....	14
2.4 Pemrograman absolut.....	18
2.5 Pemrograman inkremental.....	19
2.6 Pencekaman dengan tanggem.....	20
2.7 Pencekaman dengan <i>anggle plate</i>	21
2.8 Pencekaman langsung ke meja.....	22
2.9 Alat penyentuh tepi.....	23
2.10 Penjepitan carbide secara mekanis pada pahat bubut.....	27
2.11 Lapisan pada <i>coated carbide inserted tip</i>	28
2.12 Macam-macam bor.....	30
2.13 <i>Reamer</i>	31
2.14 Pahat boring.....	32
2.15 <i>Tap</i>	32
2.16 Macam-macam <i>cutter</i>	34
2.17 Penentuan referensi ketinggian alat potong.....	35
2.18 Penentuan ketinggian <i>cutter</i> dari referensi.....	36
2.19 Arah pemakanan.....	40
2.20 Penyimpangan rata-rata aritmetik R_a dari garis rata-rata profil.....	42
2.21 Ketinggian sepuluh titik R_z dari ketidak rataan.....	43

2.22	Tinggi maksimum R_{max} dari ketidak rataan	43
3.1	Benda kerja dengan skala 1 : 2	52
4.1	Grafik pengaruh parameter D4 dan D5 terhadap kekasaran dinding kantong melingkar	68
4.2	Grafik pengaruh parameter D4 dan D5 terhadap kekasaran permukaan kantong melingkar	69
4.3	Grafik pengaruh parameter D4 dan D5 terhadap waktu pengerjaan dinding kantong melingkar	69
4.4	Grafik pengaruh parameter D4 dan D5 terhadap waktu pengerjaan permukaan kantong melingkar	70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Sejalan dengan perkembangan teknologi dan semakin meluasnya tuntutan akan fasilitas yang dapat memberikan berbagai kemudahan hidup bagi manusia, maka tidak dapat dipungkiri bahwa dewasa ini, peranan komputer sebagai wujud untuk memenuhi kebutuhan akan kemudahan-kemudahan tersebut sangat diperlukan. Komputer telah memasuki berbagai bidang kehidupan, tanpa terkecuali dalam bidang industri. Salah satu yang tampak menonjol dalam bidang industri adalah peranan komputer dalam kapasitasnya sebagai perangkat basis pengendali (kontrol) yang dapat memudahkan dan bahkan mengambil alih terhadap sistem-sistem yang dahulu dilakukan oleh manusia dalam pengertian secara manual.

Di bidang kontruksi mesin, komputer sebagai basis kendali memberikan kontribusi yang semakin lama semakin banyak. Bermula dari pemanfaatan kontrol secara numerik pada mesin perkakas, penerapan ini selama beberapa waktu yang lalu telah menjadi dorongan yang kuat bagi perbaikan produktivitas kegiatan produksi, dan pada era selanjutnya komputer telah mengendalikan sistem kontrol secara numerik dengan canggihnya (dikenal dengan CNC atau *Computerized Numerical Control*). Hingga saat ini hampir semua industri permesinan tidak ada yang tidak menggunakan mesin CNC, walaupun demikian sistem CNC yang boleh dikatakan modern ini, jarang dianggap sebagai mesin yang berdiri sendiri. Mesin CNC kian banyak berfungsi sebagai penghubung terakhir dalam sistem CIM (*Computer*

Integrated Manufacturing), yang mengintegrasikan informasi dalam sistem manufaktur. Dalam hal ini untuk merancang, mempersiapkan pekerjaan dan produksi, kembali industri permesinan banyak menggunakan komputer. Telah dikenal apa yang disebut sistem CAD (*ComputerAided Design* atau merancang dengan bantuan komputer) dan CAM (*Computer Aided Manufacturing* atau produksi dengan bantuan komputer), yang bila kedua sistem ini digabungkan sering disebut sistem CAD/CAM. Berdasarkan keterangan yang telah diuraikan seperti di atas, bila dibandingkan dengan metode-metode produksi konvensional maka mesin CNC biasanya memiliki berbagai kelebihan, diantaranya:

1. Laju produksi yang tinggi.
2. Keseragaman dan ketelitian produk lebih besar.
3. Mudah dalam perencanaan perubahan benda kerja.
4. Pemborosan komponen berkurang, misal: alat bantu untuk memasang benda kerja.
5. Mengurangi waktu non produktif.
6. Operator yang terlibat lebih sedikit.
7. Pengerjaan dengan sumbu (arah gerakan perkakas) yang lebih banyak.
8. Pembuatan bentuk-bentuk yang kompleks (rumit) dapat dilakukan dengan mudah.

Adapun beberapa kendala yang membatasi pekerjaan kita dengan mesin konvensional antara lain:

1. Untuk pembuatan suatu produk, sering harus dilakukan penyetelan-penyetelan yang memakan banyak waktu.

2. Merealisasikan suatu bentuk *countur* gabungan hanya mungkin dilakukan dengan menggunakan pertolongan mal-mal khusus.
3. Memerlukan waktu penukaran alat potong yang lebih lama.
4. Kualitas produk yang dihasilkan sangat tergantung pada pelayanan operator sehingga sering terjadi kesalahan manusiawi.
5. Kualitas harus sering diperiksa (dicek ulang).

Beberapa hal penting yang sering menjadi pertimbangan utama dalam pembuatan suatu benda kerja dalam proses produksi biasanya adalah faktor waktu dan kualitas benda kerja (ketelitian ukuran dan kehalusan). Faktor kehalusan memiliki peran penting dalam pembuatan benda kerja karena kehalusan memiliki pengaruh besar terhadap mutu bagian-bagian, seperti misalnya suaian atau ketahanan dan juga berhubungan dengan kelanjutan proses pengerjaan dari benda tersebut. Ada beberapa cara untuk menyatakan kekasaran permukaan. Terutama sekali “penyimpangan rata-rata aritmatik dari garis-garis profil” dipergunakan, sesuai perkembangan alat ukur dan persyaratan rencana. Di beberapa negara dipakai “sepuluh titik ketinggian Rz dari ketidak rataan” atau “ketinggian maksimum Rmax dari ketidak rataan” secara konvensional.

Sedangkan waktu menjadi satu faktor penting dalam setiap proses produksi, terutama pada mesin CNC, karena faktor waktu seperti yang telah diketahui kemudian akan identik dengan faktor biaya. Semakin lama suatu benda diproduksi maka akan semakin banyak biaya yang akan dikeluarkan. Oleh sebab biaya produksi yang mahal pada mesin CNC itu pula maka kita perlu memikirkan waktu pengerjaan yang seefisien mungkin tetapi didapatkan hasil yang baik.

Untuk pembuatan bentuk pulau atau kantong yang sulit dilakukan dengan mesin konvensional (karena harus memakai berbagai macam alat bantu, seperti mal khusus misalnya) mesin CNC dapat mengerjakan dengan mudahnya, hanya diperlukan program dengan kode, fungsi dan parameter tertentu. Pemilihan kode, fungsi dan parameter tersebut harus dipilih dengan baik karena akan sangat berpengaruh terhadap kualitas benda kerja, waktu pengerjaan dan juga pada akhirnya biaya produksi.

Dapat diambil contoh yaitu proses pengerjaan *pocket* (kantong) dengan menggunakan mesin milling CNC, pada mesin CNC akan terdapat berbagai pilihan parameter dalam satu kode program, pemilihan parameter yang berbeda dalam proses pengerjaan seperti arah gerakan pemakanan dan pengaturan kecepatan pemakanan yang berlainan menyebabkan hasil yang dicapai akan bervariasi pula.

1.2 Permasalahan

Dengan melihat latar belakang yang telah diuraikan seperti diatas maka akan timbul permasalahan yaitu, bagaimana memilih parameter dengan pengaruh yang berbeda, untuk digunakan dalam proses pengerjaan agar mendapatkan hasil yang baik dan dalam waktu yang singkat, terutama dalam hal ini pengaruh parameter D5 (arah pemakanan) dan D4 (kecepatan pemakanan terluar) yang berbeda pada mesin VMC 200 untuk proses pengerjaan kantong melingkar.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dalam penulisan ini adalah:

1. Memperbandingkan tingkat kekasaran dan waktu pengerjaan untuk permukaan maupun dinding dari hasil pengerjaan kantong melingkar dengan mesin CNC VMC 200, apabila menggunakan parameter D5 (arah pemakanan) yang berbeda, tetapi kecepatan putaran spindel dan kecepatan pemakanan untuk radius terluar kantong melingkar yang digunakan untuk kedua proses pemakanan tersebut sama.
2. Memperbandingkan dan melihat tingkat kehalusan serta waktu pengerjaan yang diperlukan dalam pengaruh parameter D4 (kecepatan pemakanan radius terluar) yang berbeda untuk pengerjaan dinding dan permukaan kantong melingkar, apabila menggunakan kecepatan putaran spindel dan arah pemakanan yang sama.
3. Memperbandingkan kualitas permukaan yang dihasilkan untuk dinding (sisi) dan permukaan pada pengerjaan kantong melingkar, jika dikerjakan menggunakan parameter dan kecepatan putaran spindel yang sama.

BAB II

LANDASAN TEORI DAN HIPOTESA

2.1 Pengantar mesin CNC dan mesin milling konvensional

Selama manusia bekerja dengan logam, maka manusia akan terus berusaha mencari cara-cara baru yang sekiranya dapat mempermudah dia dalam proses memperbaiki pekerjaan tersebut.

Secara kasar kita dapat membedakan perkembangan pekerjaan logam menjadi empat tingkatan yang berbeda, yaitu:

1. Penggunaan kekuatan otot.

Pada tingkatan ini manusia masih bekerja murni dengan menggunakan ototnya, seperti ketika akan membengkokkan sebatang besi, dia akan berusaha memukul besi tersebut hingga bengkok.

2. Pemanfaatan sumber kekuatan.

Untuk mendapatkan bentuk seperti diinginkannya manusia telah mempergunakan sumber kekuatan dari luar tubuhnya, misalnya manusia akan menggunakan panas api sebagai bantuan ketika dia akan menempa besi untuk menjadi senjata.

3. Peningkatan kemampuan dengan cara-cara kendali/kemudi.

4. Peningkatan kemampuan dengan menggunakan kecerdasan tambahan.

Sementara ini perkembangan telah berjalan melalui tahapan/tingkatan yang ketiga, dimana gerakan dari bagian-bagian mesin telah dilakukan dengan penomoran dan pengemudian (pengoperasian) nomor-nomor tersebut. Walaupun demikian, langkah

perkembangan juga telah menuju tingkatan keempat, yaitu dengan penambahan kecerdasan buatan, seperti pada robot misalnya.

Sedangkan yang dimaksud dengan mengemudikan (mengoperasikan) mesin adalah memberikan semua informasi yang diperlukan kepada mesin agar dapat menghasilkan barang atau produk tertentu.

Pada mesin konvensional pengoperasian dilakukan dengan cara memberi informasi kepada mesin melalui putaran roda tangan atau dengan mengubah saklar. Juru mesin atau yang lebih dikenal dengan operator mesin mengambil informasi itu dari gambar, tabel-tabel serta memeriksa gerak perubahan mesin dengan pertolongan skala.

Pada mesin CNC data-data dikodekan pada suatu lembaran program, dimana bahasa pemrograman yang dipakai harus disesuaikan dengan mesin CNC yang akan digunakan. Kemudian biasanya dibuat suatu pembawa informasi yang dapat dibaca oleh sistem kontrol mesin seperti pita berlubang atau kaset magnetik, sehingga perintah-perintah dapat diterjemahkan secara jelas bagi mesin itu.

2.1.1 Uraian awal tentang mesin milling

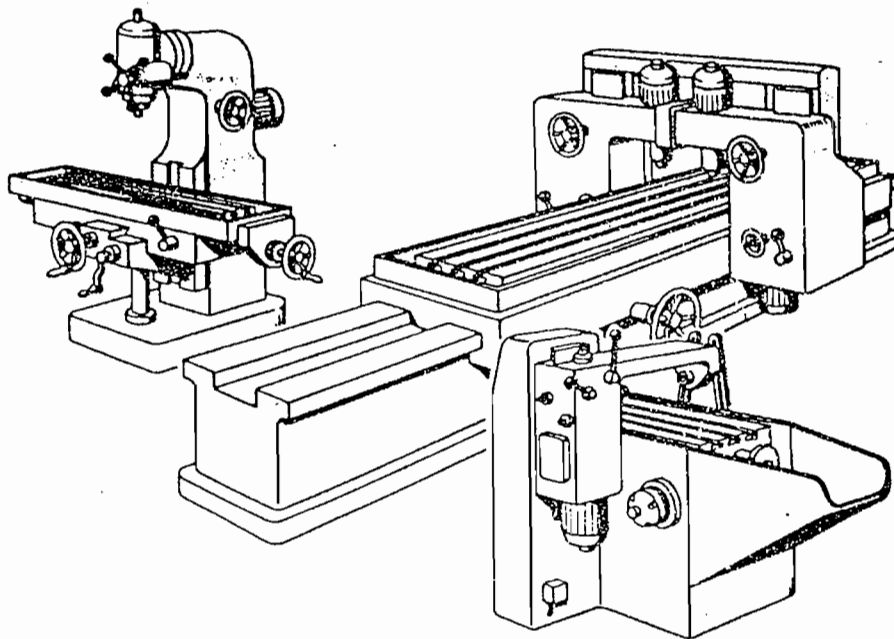
Mesin milling merupakan salah satu diantara sekian jenis mesin perkakas yang memiliki banyak fungsi, karena mesin ini memiliki banyak sumbu maka mesin milling pada umumnya dan mesin milling CNC pada khususnya dapat mengerjakan bermacam-macam bentuk yang kompleks yang mungkin tidak dapat dilakukan pada mesin yang lain seperti membuat roda gigi, membuat *countur* yang rumit, dan juga membuat *boring* dan *drilling*. Baik mesin milling konvensional maupun mesin milling CNC dibedakan berdasarkan pada letak spindelnya.

1. Mesin milling horisontal

Mesin ini dapat dipakai hampir semua jenis pekerjaan milling dan mempunyai banyak jenis spindel yang mendatar. Tiang mesin menyangga spindel yang mendatar, gerak utama dan gerak pemakanan, penyangga meja dan gerakan melintang.

2. Mesin milling vertikal

Mesin ini digunakan untuk pengerjaan dengan alat potong yang tegak lurus. Spindel mesin terpasang pada kepala mesin, kepala mesin dapat diputar posisinya sehingga spindel dapat dipasang miring.



- Keterangan : - mesin milling vertikal (kiri)
- mesin milling plano (tengah)
- mesin milling horisontal (kanan)

Gambar 2.1 Mesin milling vertikal, plano, horisontal

Sumber : St. Nunung G.R dan Eliezar S.G, Teori Bengkel, hal 73

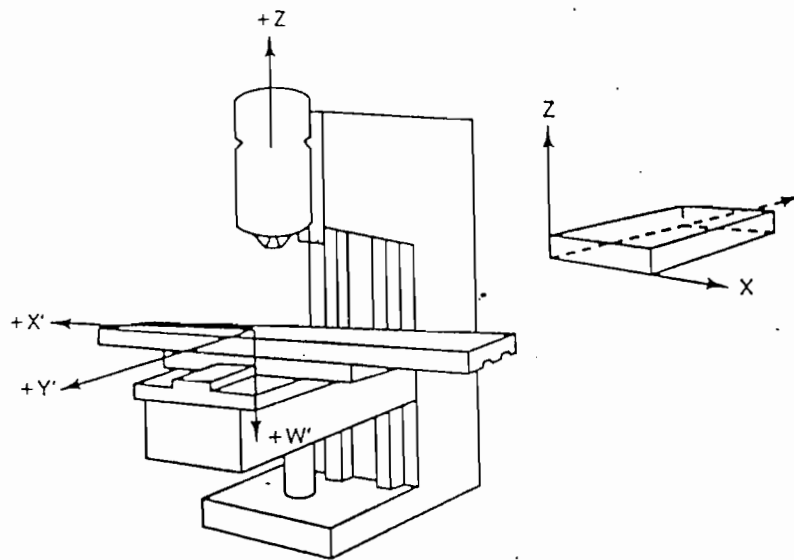
Nunung dan Sugeng (1983) menyebutkan terdapat pula beberapa mesin milling konvensional yang lain, seperti:

1. Mesin milling universal, pada mesin ini meja dapat berputar ke kanan atau ke kiri oleh sebab itu mesin ini cocok untuk semua keperluan termasuk membuat bentuk pilin.
2. Mesin milling plano, mesin milling plano dipakai untuk benda kerja yang berat karena biasanya mesin ini memiliki meja yang besar dan kuat.
3. Mesin milling ulir, mesin ini digunakan untuk membuat berbagai bentuk ulir.
4. Mesin milling roda gigi, mesin milling ini digunakan untuk membuat roda gigi yang beraneka ragam bentuknya
5. Mesin milling copy, dipakai untuk membuat benda kerja dengan bentuk yang tidak teratur/sulit. Prinsip dasarnya hampir sama dengan mesin fotokopi.

Secara umum pada dasarnya semua mesin milling mempunyai tiga sumbu yang utama, yaitu:

1. Sumbu X dikontrol dengan menggerakkan meja ke kanan atau ke kiri.
2. Sumbu Y dikontrol dengan menggerakkan spindel utama ke arah mendekati atau menjauhi operator.
3. Sumbu Z dikontrol dengan menggerakkan meja secara vertikal baik naik maupun turun.

Pada mesin CNC memungkinkan ketiga sumbu utama tersebut dapat bergerak secara bersamaan dan pada mesin konvensional hal ini sangat sukar dilakukan, untuk gambaran lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.2 yang terletak di halaman belakang.



Gambar 2.2 Arah gerakan sumbu mesin milling

Sumber : Steve Krar dan Arthur Gill, CNC Technology and Programming, hal 13

2.1.2 Uraian dasar NC dan CNC

Sebelum membahas tentang apa itu NC dan CNC, terlebih dahulu penulis akan memberikan pengantar tentang automasi sebagai dasar dari NC (*Numerical Control*). Automasi adalah teknologi yang berhubungan dengan penggunaan mekanisme yang kompleks, elektronik dan komputer merupakan sistem dasar dalam operasinya dan sebagai kontrol kendali dari produksi. Automasi meliputi:

1. *Automatic machine tools.*
2. *Automatic material handling system* (pengangkutan material).
3. *Automatic assembly machine* (untuk mengatasi *human error*, pada pemasangan komponen elektronika).
4. *Continuous flow process* (pada industri kimia)
5. *Feedback control system* (pada mesin CNC dan industri kimia).

6. *Computerized system* untuk koleksi data, *planning* dan pembuatan keputusan (untuk meningkatkan efektivitas manufaktur).

Sedangkan automasi dalam sistem produksi dibagi menjadi:

1. *Fixed automation*.

Fixed automation adalah rangkaian operasi dan konfigurasi peralatan yang tetap, ciri-ciri dari *fixed automation* antara lain adalah biaya awal yang mahal, laju produksi yang tinggi, operasi dasarnya sama dan tidak fleksibel. Contohnya pada *automatic assembly* dan proses industri kimia.

2. *Programmable automation*.

Programmable automation adalah rangkaian operasi dan konfigurasi yang dibuat fleksibel, dengan ciri-cirinya adalah biaya investasi mahal walau tidak semahal pada sistem pertama, dapat diubah rangkaian proses produksinya (hasil produknya berubah) dan laju produksinya lebih rendah dari sistem pertama. Contohnya pada mesin CNC.

Sedangkan *Numerical Control* atau yang lebih dikenal sebagai NC adalah bentuk dari *programmable automation* dimana prosesnya dikontrol oleh angka, huruf dan simbol. Didalam NC sejumlah bentuk program digunakan untuk pengerjaan benda kerja secara khusus, jika benda kerja berubah maka program juga harus diubah. Perubahan ini dapat secara mudah dilakukan dengan menulis program baru tanpa harus merubah peralatan.

Dalam pengoperasian kode nomor NC, kendali NC untuk pertama kalinya digunakan oleh Amerika Serikat pada tahun 1957. Suatu peralatan elektronika menerjemahkan sifat-sifat yang diberikan dalam perintah-perintah dan meneliti pula apakah mesin benar-benar mengerjakan dengan baik.

Pemindahan eretan-eretan mesin yang dikehendaki diberikan dalam bentuk koordinat-koordinat dan perintah-perintah lainnya dengan pertolongan kode-kode yang telah disepakati.

Berkat perkembangan semikonduktor, maka perkembangan sistem-sistem otomatis berkembang dengan pesat. Karena sistem kendali dengan penomoran generasi pertama dilakukan dengan menggunakan tabung-tabung elektron memerlukan biaya yang sangat tinggi, maka penggunaannya hanya terbatas sampai pada proses pengerjaan sederhana saja. Dengan penemuan semikonduktor maka biaya dapat ditekan serendah mungkin sehingga teknologi NC kemudian dapat dipakai juga dalam pembuatan produk yang lebih rumit, seperti profil-profil sayap dalam pembuatan pesawat terbang. Perkembangan selanjutnya adalah cara-cara pengoperasian dengan menggunakan rangkaian terpadu (*Integrated Circuit/IC*). Cara kendali ini dirancang dengan cara *hardwire logic* atau mengoperasikan dengan jalur/kawat, hal ini disebabkan karena semua fungsi dan perintah tersusun dengan urutan yang logis dalam jalur/kawat tersebut.

Penggunaan media untuk transfer informasi (pembawa informasi) juga mengalami kemajuan, dari memasukkan data secara manual, menggunakan kartu berlubang, pita magnetik, pita berlubang, sampai yang terakhir adalah dengan menggunakan disket. Program benda kerja menggunakan pita berlubang sebagai pembawa informasi yang muncul pada tahun tujuh puluhan merupakan kendali NC pertama yang kemudian menjadi standar industri NC. Cara kendali berbasis komputer ini dari tahun ke tahun berkembang pesat, secara umum kemudian kita mengenal DNC (*Direct Numerical Control*), CNC (*Computer Numerical Control*), *Adaptive Control*, *Industrial Control*.

DNC dan CNC adalah penggabungan antara teknologi computer dan NC, perbedaan yang mendasar pada keduanya terletak pada komputer sebagai kendali utama. Pada DNC yang muncul lebih awal digunakan satu komputer besar untuk mengendalikan beberapa mesin NC, sedangkan pada CNC dibuat satu komputer kecil untuk melayani satu mesin.

2.2 Mesin CNC VMC 200

2.2.1 Pengenalan CNC VMC 200

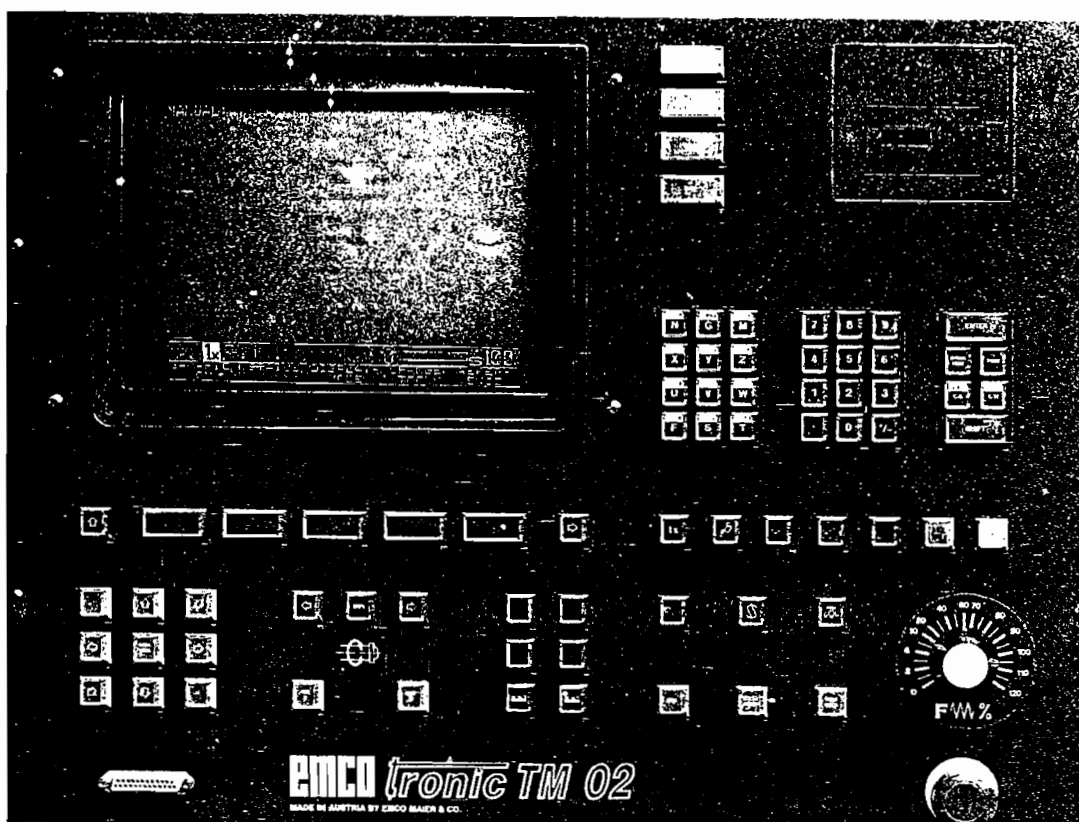
Mesin CNC VMC 200 adalah merupakan mesin CNC frais jenis vertikal kelas menengah yang digunakan untuk proses produksi. Fungsinya seperti pada mesin frais konvensional pada umumnya hanya saja gerakan mesin dapat dikontrol secara numerik (dengan menggunakan komputer).

Gerakan utama dilakukan oleh putaran alat iris yang terpasang pada spindel, kecepatan pemakanan dengan arah mendatar dilakukan dengan meja atau eretan (yang terpasang pada ketinggian tetap) tempat pencekam benda kerja terpasang. Sedangkan untuk pengaturan kedalaman pemotongan dilakukan oleh alat iris yang terpasang pada spindel melalui gerakan naik turun arah vertikal. Kecepatan spindel maupun kecepatan pemakanan dapat diatur secara manual maupun terprogram melalui tombol-tombol yang tersedia.

2.2.2 Pengoperasian secara manual

Pengetahuan tentang pengoperasian mesin secara manual penting untuk diketahui agar operator dapat menjalankan mesin dengan baik. Kemungkinan-kemungkinan yang dapat dijalankan menggunakan mode manual adalah menjalankan

eretan/meja dengan tangan, menghidupkan spindle utama searah atau berlawanan jarum jam dan mematikkannya, menghidupkan dan mematikan pendingin dan menyusun alat potong pada magasin alat potong. Cara pengoperasian ini lebih menitik beratkan kepada kemampuan dan keterampilan operator dalam menjalankan mesin karena dengan cara ini operator langsung menekan tombol-tombol yang ada secara manual seperti pada pengerjaan menggunakan mesin konvensional. Cara ini memiliki beberapa keuntungan diantaranya, operator tidak perlu menseting alat potong yang akan digunakan, dapat langsung membuat bentuk benda kerja hanya dengan melihat harga X, Y, Z pada monitor dan juga dapat menentukan koreksi (kompensasi) alat potong. Untuk lebih jelasnya mengenai fungsi-fungsi kendali yang terdapat pada *control unit* mesin CNC VMC 200, dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Control Unit* VMC 200

Sumber : Instruksi pengoperasian dan pemrograman EMCO VMC 200, hal D2

2.2.3 Struktur program

Agar mendapatkan hasil produksi yang sesuai dengan yang diharapkan/dituntut, maka perlu dibuat program yang benar. Struktur program pada mesin VMC 200 secara umum adalah

N	G	X	Y	Z	I	J	K	P	D	F
		U	V	W						

Keterangan :

Program : Kumpulan perintah yang diperlukan untuk pembuatan suatu benda kerja dengan menggunakan perantara suatu bahasa pemrograman tertentu, yang terdiri dari blok-blok.

Blok : Blok merupakan baris-baris program yang berisi informasi/data yang diperlukan dan biasanya blok terdiri dari berbagai kata.

Kata : Kata terdiri dari sebuah huruf dan kombinasi angka

Address : Huruf-huruf pada kata yang memiliki arti khusus

Address-Address :

N : Nomor blok (0000 - 9999)

G : Kode-kode (00 - 99)

X, Y, Z : Koordinat absolut

U, V, W : Koordinat inkremental

I, J, K : Parameter interpolasi

P0 ... P7 : Parameter bantu

D0 ... D7 : Parameter bantu

F : Kecepatan pemakanan dalam milimeter per menit, μ m/ put

- S : Kecepatan sumbu utama
- T : Memanggil alat potong, ralatan alat potong (empat angka)
- L : Nomor untuk sub program/pengulangan (empat angka) tujuan lompatan
- M : Kode-kode bantu (00 – 99)

Agar pemrograman dapat berlangsung dengan cepat dan sesuai dengan yang diharapkan maka langkah-langkah berikut perlu diperhatikan oleh pemrogram:

1. Penentuan urutan pengerjaan/permesinan.

Berdasarkan gambar kerja ditentukan cara pemasangan maupun alat-alat penjepit yang dibutuhkan serta langkah pengerjaan untuk masing-masing penjepitan agar tercapai bentuk akhir yang diinginkan.

2. Penentuan perkakas potong yang diperlukan.

Perkakas potong (pahat) yang diperlukan untuk setiap langkah pengerjaan dipilih dari katalog perkakas. Di dalamnya digambarkan semua perkakas yang tersedia serta data tentang geometri perkakas dan harga penyetulan/kompensasi dimensinya.

3. Penentuan data geometri.

Selanjutnya pemrograman menentukan titik nol benda kerja, kemana semua nilai geometri mengacu. Sesudahnya, dapat ditentukan cara pemindahan perkakas yang ditempuh dengan kecepatan tinggi (*rapid feed*) atau dengan kecepatan pemakanan (*feed rate*).

4. Penentuan data teknologi.

Untuk semua pengerjaan harus ditentukan kedalaman potong (*depth of cut*), kecepatan pemakanan (*feed rate*), kecepatan putaran per menit (RPM) dan sebagainya.

5. Pengkodean data pengendalian.

Data geometri dan teknologi yang telah ditentukan oleh pemrograman seperti disebut pada butir 2 dan 4 dikodekan (dibuat bahasa kodenya) pada lembaran program.

6. Pengecekan program NC yang telah dibuat.

Akhirnya program NC yang telah disusun diperiksa kemungkinan adanya kesalahan-kesalahan penulisannya. Gerakan perkakas/pahat terhadap benda kerja dapat juga diperiksa dengan bantuan *plotter* atau monitor.

2.2.4 Pemrograman Mesin CNC VMC 200

Pemrograman mesin CNC merupakan pemberian semua informasi kepada mesin untuk dapat menghasilkan suatu produk atau hasil-hasil tertentu yang dilakukan dengan cara kendali terpadu dan perintah-perintah sesuai dengan bahasa dan sistem pengukuran tertentu pada daerah kerjanya yang diterjemahkan secara jelas bagi mesin tersebut.

Mesin VMC 200 mempunyai tiga sumbu yang saling tegak lurus (X, Y, Z) sehingga dapat membentuk koordinat ruang. Pada pembuatan program CNC diberikan angka-angka sebagai titik tujuan yang harus dituju oleh sumbu alat iris melalui gerakan alat iris atau benda kerja sehingga terjadi proses pengirisan benda kerja sesuai yang diperintahkan. Untuk mencapai titik tujuan terdapat dua cara

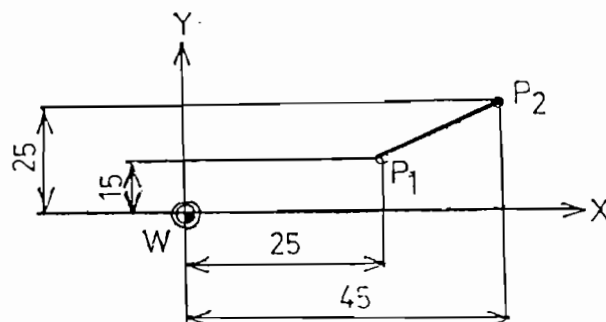
pengukuran yang umum dipakai, yaitu pengukuran dengan pemrograman absolut dan inkremental.

2.3 Pemrograman harga absolut dan inkremental

Pemrograman absolut maupun inkremental pada dasarnya menunjukkan tentang hubungan antara perpindahan spindel terhadap titik nol yang telah ditentukan atau perpindahan jarak spindel dari suatu koordinat tertentu (titik tersebut bukanlah titik nol) menuju titik koordinat yang lain.

2.3.1 Pemrograman absolut

Pemrograman ini memiliki titik tujuan yang dinyatakan dari titik koordinat nol benda kerja (*datum*). Dalam dunia industri biasanya lebih banyak menggunakan pemrograman absolut karena dengan pemrograman ini bila operator mesin membuat kesalahan dalam pemrograman maka kesalahan tersebut hanya akan terjadi pada satu tahap saja.



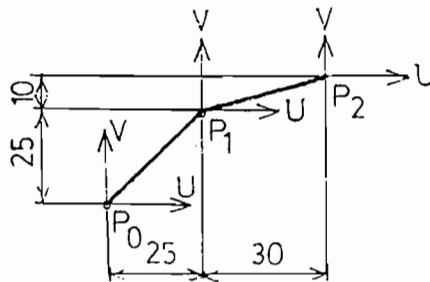
$$P1 : X = 25 \quad Y = 15$$

$$P2 : X = 45 \quad Y = 25$$

Gambar 2.4 Pemrograman absolut

2.3.2 Pemrograman inkremental

Pemrograman inkremental menentukan pergerakan spindel atau jarak yang ditempuh dari titik koordinat terakhir (yang diinginkan), jadi dengan pemrograman inkremental kita dapat menggerakkan spindel tanpa harus menghitung dari titik koordinat benda kerja. Pemrograman ini menguntungkan untuk pembuatan benda kerja yang memiliki jarak antar lubang atau bagian yang rumit, walaupun demikian bila terjadi kesalahan maka biasanya benda kerja akan rusak parah. Yang perlu diingat pada pemrograman ini adalah bahwa untuk pergerakan keatas dan kekanan dari titik asal harus memakai tanda positif (+), dan untuk pergerakan kebawah atau kekiri memakai tanda negatif (-).



$$p1 : U = 25 \quad V = 25$$

$$P2 : U = 30 \quad V = 10$$

Gambar 2.5 Pemrograman inkremental

2.4 Setting benda kerja

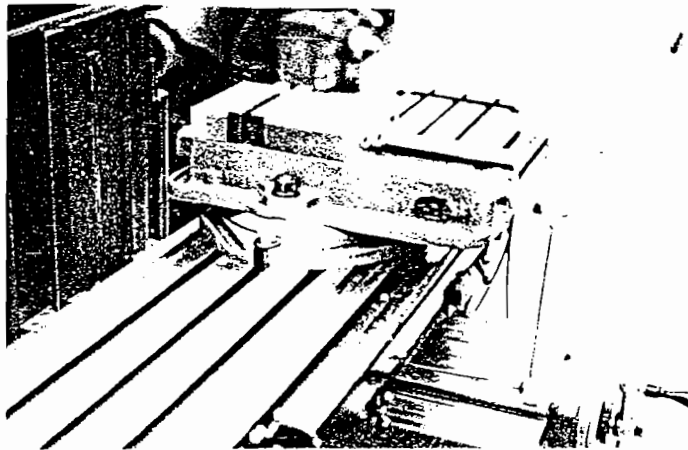
2.4.1 Pencekaman benda kerja

Pencekaman benda kerja pada proses milling merupakan sesuatu yang sangat penting, karena pada langkah ini dapat menentukan apakah operator sanggup mengerjakan benda kerja sesuai tuntutan gambar atau tidak. Beberapa pencekaman

benda kerja dapat dilakukan dengan mudah misalnya menggunakan tanggem (*vise*) tetapi adapula cara pengecaman yang rumit dan memerlukan waktu yang lama terutama untuk benda kerja dengan bentuk yang kompleks. Berikut adalah cara pengecaman benda kerja yang banyak dipakai pada pengerjaan milling:

1. Tanggem

Biasanya digunakan pada benda kerja yang berukuran kecil dan mempunyai sisi-sisi yang paralel, tanggem diletakkan pada meja mesin dengan bantuan *T-slots*. Pengecaman menggunakan tanggem cocok untuk pengerjaan berjumlah banyak (*massal*).

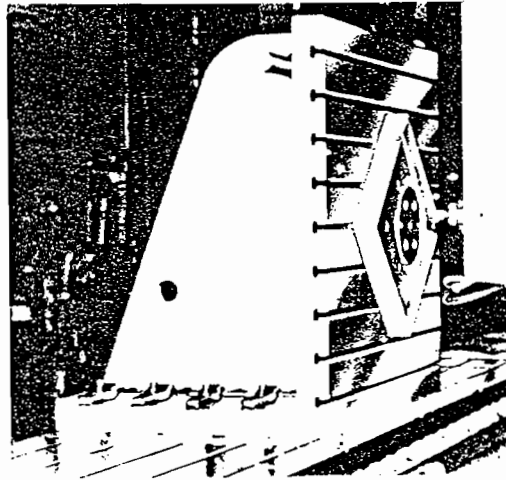


Gambar 2.6 Pengecaman dengan tanggem

Sumber : Jon Stenerson dan Kelly Curran, *CNC Operation and Programming*, hal 110

2. *Anggle plate*

Pekerjaan yang membutuhkan untuk dicekam dengan sudut 90 derajat terhadap arah jalannya sumbu mesin, sangat cocok menggunakan *anggle plate*. *Anggle plate* adalah bentuk L yang terbuat dari besi tuang atau baja yang memiliki lubang berulir atau slot untuk mencekam benda kerja di atasnya (Gambar 2.7).



Gambar 2.7 Pencekaman dengan *angle plate*

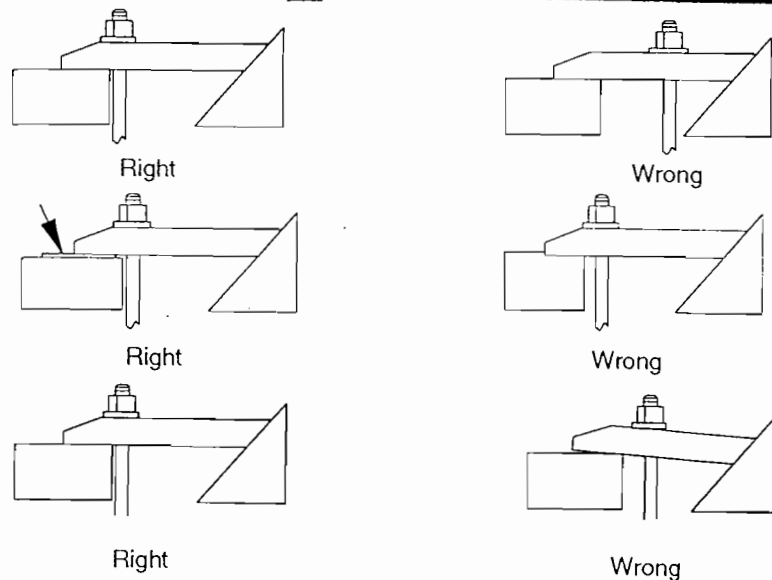
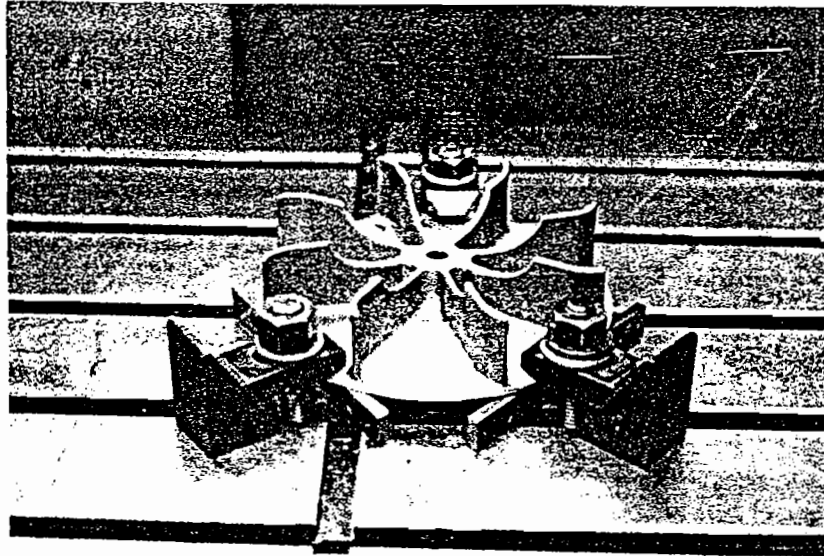
Sumber : Jon Stenerson dan Kelly Curran, CNC Operation and Programming, hal 110

3. Pencekaman langsung ke meja

Pencekaman benda kerja langsung pada meja digunakan bila pencekaman dengan menggunakan media lain sudah tidak dapat lagi dilakukan. Digunakan bila benda kerja memiliki bentuk yang tak teratur ataupun memiliki ukuran yang teramat besar. Jon dan Kelly (1997) menulis ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pencekaman langsung ke benda kerja, yaitu:

- a. Meja harus bersih dari material yang gampang terkikis, seperti besi tuang, untuk itu meja perlu dilindungi menggunakan plastik atau alumunium yang diletakkan diantara meja dan benda kerja.
- b. Penjepit (*clamps*) diusahakan terletak pada dua sisi yang berseberangan pada benda kerja.
- c. Penjepit maupun penyangga sebaiknya diletakkan pada ketinggian yang sama dengan tinggi benda kerja.

- d. Gunakan logam lunak di antara penjepit dan benda kerja untuk menghindari cacat atau perubahan bentuk benda kerja.
- e. Baut penjepit diusahakan selalu ditempatkan sedekat mungkin dengan benda kerja agar pencekaman benda kerja benar-benar kuat dan aman.



Keterangan : - Pencekaman pada meja (atas)

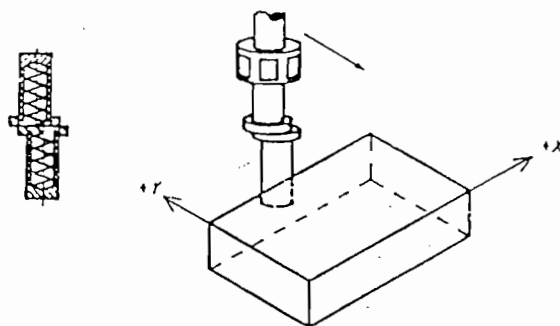
- Beberapa contoh pencekaman (bawah)

Gambar 2.8 Pencekaman langsung ke meja

Pada mesin milling konvensional kadang masih terdapat beberapa alat pengecam yang lain yang juga berfungsi sebagai alat bantu dalam proses pengerjaan. Alat bantu ini sudah jarang dipakai dalam mesin milling CNC, karena dalam pengerjaan menggunakan mesin CNC kendala yang dihadapi dapat diselesaikan melalui program. *Rotary table* atau meja putar berfungsi untuk membuat bentuk-bentuk radius pada benda kerja, *Dividing head* (kepala bagi) terutama berguna dalam pembuatan roda gigi pada mesin milling umum. Sedangkan bila kita akan membuat bentuk-bentuk seperti segi enam, segi lima atau juga melubang benda silinder sebesar sudut-sudut tertentu secara memutar maka kita dapat menggunakan *fixture chuck*.

2.4.2 Menentukan titik referensi benda kerja

Menentukan titik nol benda kerja dalam arah X dan Y dapat kita lakukan dengan pertolongan alat penyentuh tepi atau *center fix*. *Center fix* terdiri dari dua buah silinder dengan diameter tertentu (biasanya berdiameter 10mm) yang dapat bergerak tidak sentris, dimana satu sama lain disatukan oleh pegas kecil.



Gambar 2.9 Alat penyentuh tepi

Sumber : J.J.M. Hollebrandse, Teknik pemrograman dan aplikasi CNC, bab 4 - 8

Dengan memakai angka putaran sekitar 600 put/min kita sentuhkan secara perlahan-lahan sisi dari silinder bawah pada tepi benda kerja, sampai kedua silinder

yang berputar tidak sentris menjadi sentris. Setelah kedua silinder sentris maka kembali *center fix* digeser sekitar 0,05 mm sehingga kedua silinder menjadi sedikit tidak sentris lagi putarannya. Langkah berikutnya adalah dengan memperhitungkan diameter silinder dan menentukan harga X dan Y.

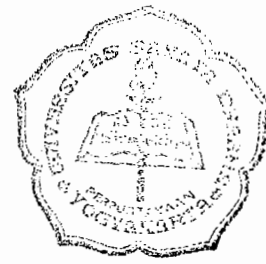
Dapat juga mencari titik nol benda kerja dengan menggunakan bantuan *dial*, terutama bila yang kita cari adalah titik pusat lubang, sentuhkan ujung *dial* ke tepi sisi dalam lubang lalu kita atur sedemikian rupa sehingga bila kita putar spindel utama menggunakan tangan dimana *dial* terpasang dengan bantuan *drill chuck*, simpangan *dial* yang didapat pada seluruh sisi sama.

Kedua metode diatas dapat digunakan baik pada mesin CNC maupun konvensional, tetapi pada mesin CNC biasanya terdapat alat bantu khusus setting benda kerja, sehingga mempercepat dan mempermudah dalam mencari titik referensi pada benda kerja.

2.5 Alat potong

Alat potong adalah suatu alat yang dipergunakan sebagai pengikis pada saat terjadi proses pemotongan/pengikisan permukaan dari benda kerja. Dalam prakteknya, dewasa ini sesuai kebutuhan pasar, maka penggunaannya semakin beraneka ragam. Oleh karena itu untuk memenuhi permintaan pasar maka suatu alat potong haruslah mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Keras, karena agar ujung sisi potong dapat mengikis benda kerja.
2. Ulet, agar alat potong tahan terhadap beban kejut maupun getaran yang terjadi.



3. Tahan panas, supaya alat potong dapat mempertahankan kekerasannya pada saat bergesekan, untuk itu alat potong juga diharapkan mempunyai koefisien gesek yang kecil sehingga dapat mengurangi panas akibat gesekan dengan benda kerja selama proses pemotongan.
4. Tahan lama, agar dapat diperoleh umur pemakaian yang relatif lama sehingga waktu yang diperlukan untuk mengganti alat potong akan lebih sedikit.

2.5.1 Material alat potong

Material atau bahan alat potong sangat banyak macamnya dan masing-masing dari bahan tersebut memiliki kelebihan sendiri-sendiri, berikut adalah beberapa beberapa bahan alat potong yang sering dipergunakan dalam proses pengerjaan logam:

1. *Tool Steel*

Adalah baja karbon atau campuran baja menengah dapat juga merupakan campuran baja rendah yang mengandung 0,9 % sampai 1,3 % karbon yang dikeraskan dan ditemper, tetapi akan kehilangan kekerasan pada suhu 400 °F.

2. Baja kecepatan tinggi

Jenis baja ini sering disebut baja kekerasan merah karena mampu mempertahankan kekerasannya hingga suhu yang tinggi, HSS dapat mempertahankan sisi potongnya dengan baik hingga suhu 1100 °F. HSS mempunyai kedudukan yang lebih baik daripada *tool steel* dan dapat dioperasikan pada dua kali kecepatan potong *tool steel* dengan umur pakai

yang relatif sama, untuk itulah maka disebut baja kecepatan tinggi atau dewasa ini lebih dikenal dengan nama HSS (*High Speed Steel*).

HSS dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- a. Jenis Tungsten, disingkat T-grades (kelas T) oleh AISI (*American Iron and Steel Institute*) menggunakan tungsten (W) sebagai unsur pokok (12 % - 20 %). Bahan tambahan lain adalah Chrom (Cr, 4 %) dan Vanadium (V, 1 % - 2 %). HSS terbaik dari jenis ini adalah HSS 18-4-1 yang mengandung 18 % W, 4 % Cr dan 1 % V.
- b. Jenis molybdenum, disingkat M grades, menggunakan perpaduan tungsten (W, 6 %) dan molybdenum (Mo, 5%). Bahan tambahan lain seperti pada kelas T dan untuk menambah sifat tahan panasnya diberi unsur Cobalt (Co, 5% - 8%)

Selain semua bahan diatas HSS juga mengandung karbon antara 0,75% – 1,5%, dalam penggunaannya HSS sangat tepat untuk pembuatan alat potong dengan geometri yang kompleks seperti bor, *tap* dan *milling cutter* karena dengan menggunakan bahan HSS, selain mudah pembuatannya juga dari segi biaya akan lebih murah. Alat-alat potong tersebut memiliki kekerasan yang baik (65 HRC) dan bagian dalamnya tetap ulet. Untuk keuletan HSS *cutter* punya keuletan yang lebih baik dari pada alat potong cemented carbide.

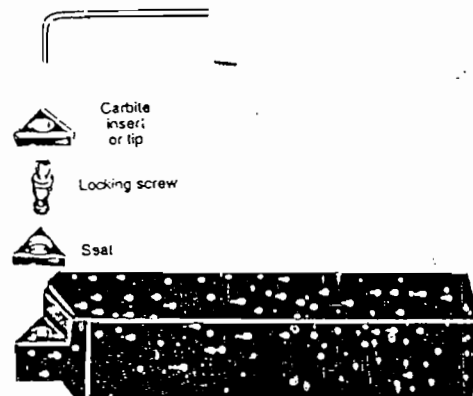
3. Carbide

Material ini merupakan campuran logam non fero, disebut juga carbide sinter (*cemented carbide*) karena dibuat dengan cara *powder metalurgi*. Material ini lebih keras, secara kimiawi lebih stabil, *hot hardness* yang lebih baik, kekakuan yang tinggi, gesekan kecil dan kecepatan potong

yang lebih besar dari HSS. Alat ini digunakan untuk kecepatan tinggi (lebih besar dari 300 mm/menit). Bahan jenis ini paling tepat untuk mengerjakan benda kerja dari besi cor dan baja.

Kebanyakan alat potong carbide saat ini menggunakan multi carbide dari W – Ti atau W – Ti – Tc (tergantung dari material yang akan diproses) dengan mengandung banyak carbide tungsten dan cobalt (3 % - 13%) sebagai pengikat.

Alat potong *cemented carbide* kebanyakan berbentuk tip, potongan-potongan kecil, yang dapat disisipkan dan tersedia dalam bermacam-macam bentuk: persegi panjang, segitiga, *diamond*, dan lingkaran. Dapat juga dijepit secara mekanik pada ujung alat potong. Penjepitan mekanik memiliki keuntungan bila salah satu sisi potong tumpul, tip dapat diputar untuk mendapatkan sisi potong yang baru (De Garmo, 1997).



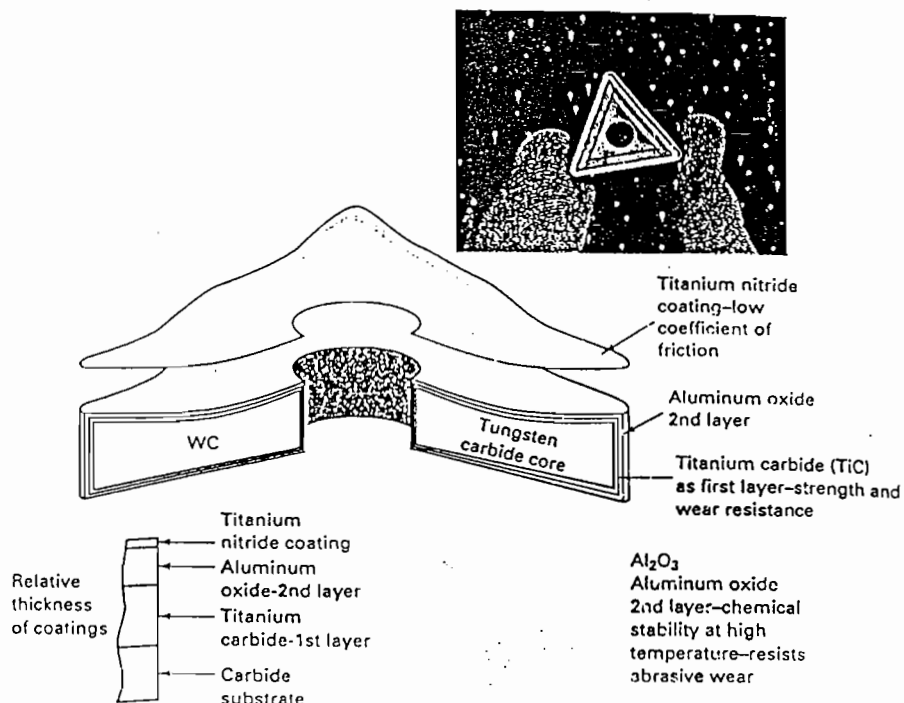
Gambar 2.10 Penjepitan carbide secara mekanis pada pahat bubut

Sumber : DeGarmo, Material and Processes in Manufacturing

4. Coated Carbide

Coated tool (alat potong yang dilapis) telah umum digunakan dalam industri pemrosesan baja karena *coating* (proses pelapisan) dapat meningkatkan umur alat potong hingga 200% – 300% lebih lama (De Garmo,

1997). Bahan pelapis yang baik harus tahan terhadap abrasi, keras, stabil secara kimia untuk mencegah reaksi kimia antara alat potong dan material selama proses pemotongan. Lapisan tipis dan keras dari TiC, TiN atau Al_2O_3 telah memenuhi persyaratan tersebut. Sebagian besar alat potong ini akan tahan beban kejut, ulet, tahan deformasi plastis pada suhu tinggi dan tahan terhadap kerusakan. Titanium carbide merupakan material dasar yang melapisi inti alat potong untuk kekuatan dan keawetan. Lapisan kedua adalah aluminium oksid yang secara kimia stabil terhadap suhu tinggi dan tahan terhadap pemakaian yang bersifat abrasif. Lapisan ketiga titanium nitride yang tipis sebagai pemberi koefisien gesek yang lebih kecil untuk mengurangi pembentukan bekas keausan.



Gambar 2.11 : Lapisan pada *coated carbide inserted tip*

Sumber : DeGarmo, Material and Processes in Manufacturing

5. Pahat keramik

Pahat keramik memiliki titik pelunakan pada suhu 1300° C dan mempunyai konduktivitas thermal yang rendah sehingga alat potong ini mampu beroperasi pada kecepatan yang tinggi dan mampu mengambil pemotongan yang dalam. Material ini lebih tahan aus daripada *cemented carbide* tetapi sangat sensitif terhadap beban kejut.

2.5.2 Alat pelubang

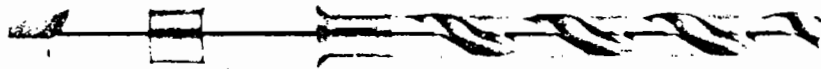
Pada mesin milling terdapat beberapa macam alat pengikis/pengiris yang berfungsi secara khusus untuk membuat lubang, yaitu:

1. *Drill*

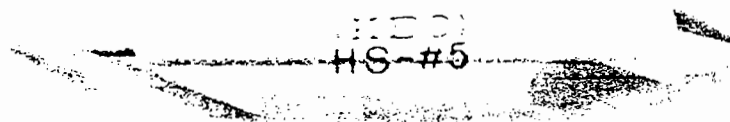
Drill atau yang lebih dikenal dengan nama bor merupakan alat pembuat lubang yang paling umum digunakan pada sebagian besar mesin perkakas baik yang manual ataupun yang memakai program. Bor biasanya digunakan untuk pembuatan lubang dalam jumlah banyak yang tidak memerlukan ukuran atau jarak yang akurat (presisi). Bor dengan bahan HSS lebih sering dipakai daripada bor carbide dikarenakan faktor biaya dan kepraktisan, macam-macam bor yang sering digunakan dalam proses permesinan; bor spiral, *inserted drill*, *center drill* dan bor benam.



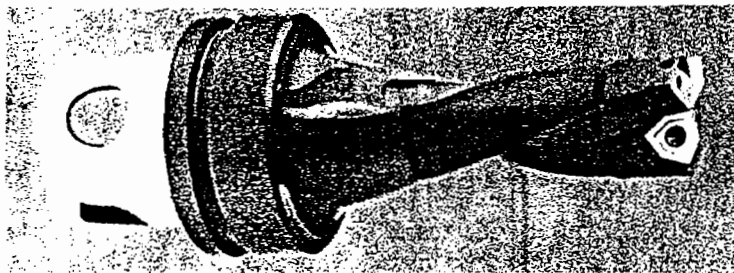
Bor yang umum digunakan



Bor dengan tangkai *tapper*



Center drill



Inserted drill

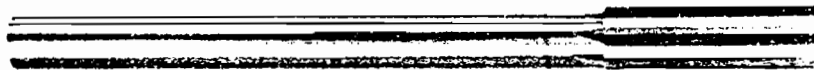
Gambar 2.12 Macam-macam bor

Sumber : Jon Stenerson dan Kelly Curran, CNC Operation and Programming, bab 5

2. Reamer

Reamer adalah alat berbentuk seperti bor yang digunakan untuk membuat lubang dimana lubang tersebut memerlukan kehalusan dan toleransi ukuran yang tidak dapat dicapai oleh bor. Dikarenakan penyayatan yang

dilakukan *reamer* sangat sedikit maka *reamer* memerlukan lubang awal, biasanya lubang awal yang dibuat lebih kecil 0,2 - 0,1 mm dari lubang yang diharuskan. Misalnya untuk $\text{Ø } 18 - H7$ lubang awal yang diperlukan $18 - 0,2 = 17,8$. *Reamer* hanya mampu membuat lubang berdiameter relatif kecil dengan mengikuti lubang awal yang telah dibuat sebelumnya, oleh sebab itu penggunaan *reamer* untuk lubang dengan jarak tertentu yang akurat (presisi) tidak dapat dibenarkan. Untuk pembuatan lubang dengan jarak tertentu yang presisi biasanya dipergunakan pahat boring.



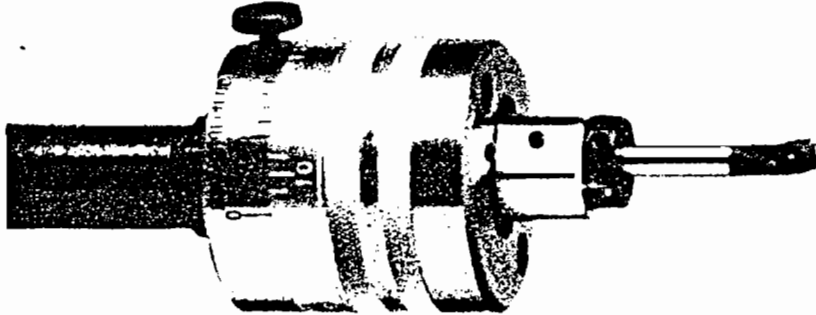
Gambar 2.13 *Reamer*

Sumber : Jon S dan Kelly C, CNC Operation and Programming, hal 112 - 113

3. Pahat Boring

Seperti halnya *reamer*, pahat boring berfungsi untuk membuat lubang dimana kehalusan dan toleransi ukuran yang diminta tidak dapat dipenuhi oleh alat pelubang lain. Meskipun proses boring juga memerlukan lubang awal tetapi proses boring tidak harus mengikuti lubang awal, maka untuk pemenuhan kepresisian jarak antara lubang dengan titik referensi tertentu sangat mungkin terlaksana, tidak seperti halnya pada proses *reamer*. Pahat boring yang terpasang pada kepala pembawa pahat dapat dipakai untuk membuat lubang berdiameter berapapun selama masih dalam batas rentang ukuran yang dapat diatur pada kepala pembawa pahat boring. Pahat boring yang ada terdiri atas dua jenis, yaitu untuk lubang tembus dan tidak, pahat

tembus biasanya mempunyai kemiringan pada sisi tajamnya sehingga dapat melakukan penyayatan yang lebih besar.



Gambar 2.14 Pahat boring

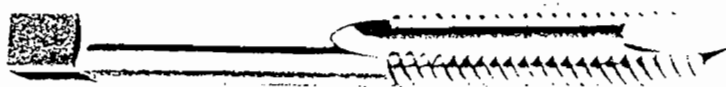
Sumber : Jon S dan Kelly C, CNC Operation and Programming, hal 112 - 113

4. Tap

Tap adalah suatu alat yang dipergunakan untuk membuat ulir dalam, sedangkan prosesnya dinamakan *Tapping*. Untuk pembuatan ulir dengan menggunakan tap harus dibuat terlebih dahulu lubang awalnya sebesar diameter minor dari ulir tersebut.



- Specifically designed for through-hole applications



Gambar 2.15 Tap

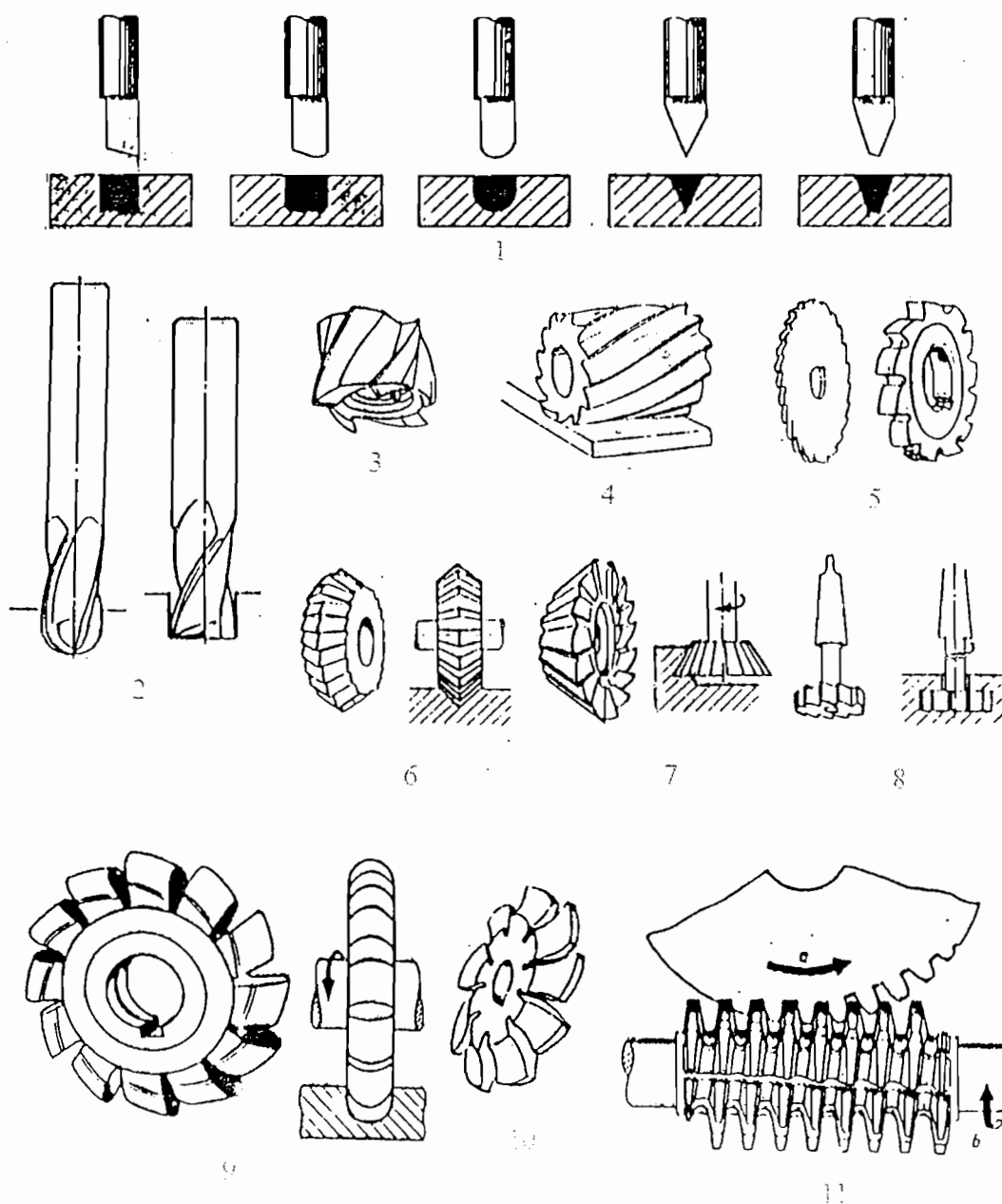
Sumber : Jon S dan Kelly C, CNC Operation and Programming, hal 112 - 113

2.5.3 Alat potong/cutter

Cutter sebagai alat potong utama pada mesin milling memiliki berbagai jenis dan fungsi yang berbeda, jenis-jenis alat potong tersebut antara lain:

1. *Single Lip Milling Cutter*, digunakan untuk membuat bentuk-bentuk khusus yang biasanya bentuk tersebut sulit dibuat dengan menggunakan *multi lip cutter*. Misalnya dipakai untuk membuat slot radius, slot trapesium, membuat roda gigi cacing dan lain-lainnya.
2. *End Milling Cutter*, digunakan untuk meratakan permukaan, membuat bidang bertingkat, membuat bentuk slot, juga dapat pula berguna untuk membuat material pejal. Sedangkan untuk *end milling cutter* yang ujungnya berbentuk radius, berbentuk setengah bola dinamakan *Ball Nose Milling cutter*.
3. *Shell End Milling Cutter*, berguna untuk meratakan permukaan yang relatif luas, membuat bidang bertingkat dan alur yang lebar. Untuk *cutter shell end mill* baik menggunakan *insert tip* dari carbide maupun HSS (*High Speed Steel*) mempunyai fungsi yang sama, pada cutter dengan insert tip bila tumpul diganti dengan tip yang baru sedangkan pada cutter HSS perlu diasah kembali.
4. *Plain Milling Cutter*, berguna untuk meratakan permukaan yang luas, biasanya digunakan pada mesin milling vertikal. Lebar permukaan yang dikerjakan harus lebih kecil dari lebar plain milling cutter.
5. *Disc Milling Cutter*, berfungsi untuk membuat alur atau slot.
6. *Prisma Milling Cutter*, berfungsi untuk membuat alur yang bersudut dan sudut alur yang dibuat sama dengan sudut *cutter*. Misalnya seperti pada produk roller bergerigi.
7. *Dove Tail Milling Cutter*, digunakan untuk membuat alur seperti bentuk ekor burung, misalnya pada tanggem atau *indexing head*.
8. *T-Slot Milling Cutter*, digunakan untuk membuat alur T, misalnya seperti alur meja mesin milling.

9. *Radius Milling Cutter*, berfungsi untuk membuat alur radius cembung maupun cekung.
10. *Modul Milling Cutter*, berguna untuk membuat roda gigi di mesin milling yang dibantu perlengkapan tambahan, *deviding head*.
11. *Hobbing Cutter*, dipakai untuk membuat roda gigi pada mesin khusus untuk membuat roda gigi.



Gambar 2.16 Macam-macam *cutter*

2.6 Setting alat potong

Mesin VMC 200 menggunakan *dial gauge* sebagai sebagai alat bantu setting alat potong. Alat ini sangat membantu dalam memasukkan data tinggi alat potong, cara ini merupakan cara termudah dan sangat akurat.

Perintah yang dipergunakan adalah mode manual.

1. Sentuhkan *dial indikator* pada titik N. Atur dial gauge ke posisi nol, jika dial gauge telah menunjuk titik nol maka ketinggian tertentu H telah dicapai (Gambar 2.17).

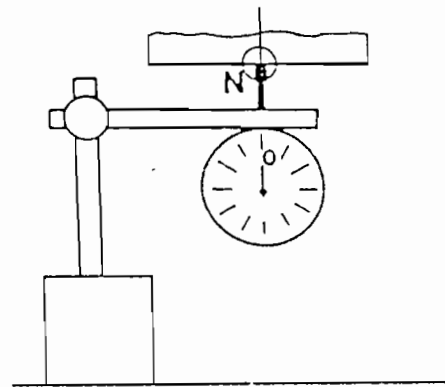
SHIFT

T00

ENTER

Ketinggian H telah disimpan ke dalam kontrol mesin dengan SHIFT

TOO ENTER.



Gambar 2.17 Penentuan referensi ketinggian alat potong

Sumber : Instruksi pengoperasian dan pemrograman EMCO VMC 200, hal D16

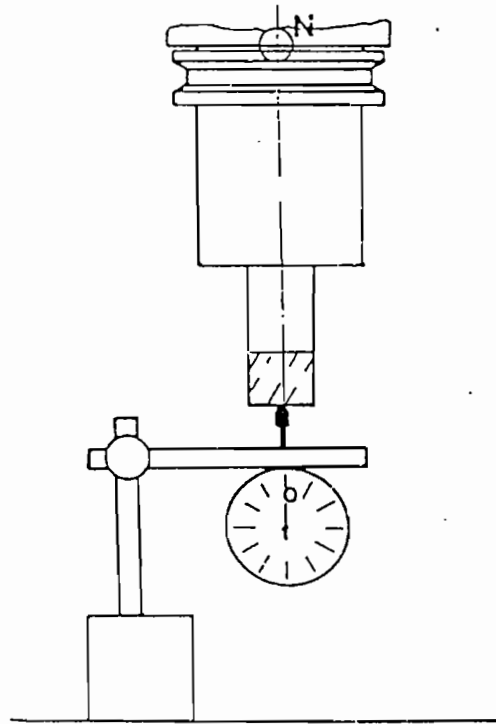
2. Pasang alat potong yang akan digunakan, sentuhkan dan atur sehingga *dial gauge* menunjukkan titik nol (Gambar 2.18).

SHIFT

T01

ENTER

Ukuran panjang Z telah disimpan dalam koreksi alat nomor T.. 01.



Gambar 2.18 Penentuan ketinggian *cutter* dari referensi

Sumber : Instruksi pengoperasian dan pemrograman EMCO VMC 200, hal D2

2.7 Kedalaman pemotongan (*depth of cut*), kecepatan potong (*cutting speed*), kecepatan pemakanan (*feed rate*)

Kecepatan potong, kedalaman pemotongan dan pemakanan merupakan tiga faktor penting yang harus ditentukan terlebih dahulu sebelum proses permesinan. Ketiganya sangat mempengaruhi laju produksi, umur alat potong dan kualitas permukaan yang dihasilkan.

2.7.1 Kedalaman pemotongan (*Depth of Cut*)

Depth of cut merupakan data pemotongan yang pertama kita tentukan, karena *depth of cut* memiliki dampak terkecil dalam pengaruhnya terhadap umur dari alat potong maka kita perlu memaksimalkan kedalaman pemotongan yang dapat dilakukan sehingga laju produksi dapat ditingkatkan. Kedalaman pemakanan tergantung oleh beberapa faktor diantaranya jumlah mata potong, bahan alat potong dan benda kerja, serta perbandingan ketebalan pemotongan terhadap ukuran diameter alat potong. Misalnya untuk kedalaman pemotongan yang ideal untuk alat potong *cutter end mill roughing* baja kecepatan tinggi adalah dua per tiga dari diameter, jadi seandainya kita memiliki *cutter end mill roughing* berdiameter 12 mm maka kita sebaiknya melakukan pemotongan dengan kedalaman tidak lebih dari 8 mm. Dan karena biasanya sebagian besar proses pemotongan hanya memerlukan dua kali proses pemotongan, yaitu proses pemotongan kasar (*roughing*) dan pemotongan akhir (*finishing*), maka untuk pemotongan terakhir dianjurkan untuk menyisakan 0,5 sampai 1 mm untuk proses finishing.

2.7.2 Kecepatan potong (*Cutting Speeds*)

Cutting speeds dapat dikatakan sebagai faktor terbesar dalam pengaruh umur alat potong, kecepatan potong dalam proses milling adalah kecepatan dimana sebuah titik di dalam alat potong yang berotasi bergerak melewati titik tertentu pada benda kerja dalam waktu yang telah ditentukan pula. Kecepatan potong pada satu material akan berbeda dengan material yang lain, tergantung dari kekerasan material benda kerja dan alat potong yang digunakan. Jika kecepatan potong terlalu tinggi maka alat potong akan cepat tumpul dan bila kecepatan potongnya terlalu rendah maka

kemampuan potongnya juga rendah. Masing-masing material memiliki kecepatan potong yang berbeda.

Fungsi langsung dari kecepatan potong adalah untuk menentukan angka putaran spindel utama, agar dapat menentukan angka putaran yang sesuai dapat menggunakan rumus:

$$n = \frac{1000 \times C_s}{\pi \times d} \dots\dots\dots^1$$

Keterangan :

n = Angka putaran spindel utama (*revolutions per minute*)

C_s = Kecepatan potong material (m/menit)

d = Diameter alat potong (mm)

2.7.3 Kecepatan pemakanan (*Feed rate*)

Kecepatan pemakanan adalah kecepatan bergesernya benda kerja terhadap *cutter* dengan memperhitungkan angka putaran spindel utama, dimana benda kerja mulai mengenai dan dikikis oleh *cutter*. Dalam pengerjaan di mesin milling gerak pemakanan dinyatakan dalam mm/menit atau inchi/menit, merupakan jarak yang dilalui dalam milimeter atau inchi setiap menitnya. Ketika material terkikis oleh *cutter* maka terdapat *chip*/tatal yang ditimbulkan, rata-rata *chip* yang timbul pada setiap gigi atau mata *cutter* ini dikenal dengan nama *chip load* (muatan tatal). Jika *chip load* yang terjadi terlalu besar maka akan merusak mata potong *cutter* (gempil), tetapi bila muatan tatal terlalu sedikit maka *cutter* akan menjadi cepat aus/tumpul.

¹ Teori bengkel ATMI Surakarta, hal 80

Untuk itu agar didapatkan *chip load* yang diharapkan dapat dilihat pada tabel yang dikeluarkan oleh produsen atau pabrik pembuat *cutter*.

Karena pentingnya kecepatan pemakanan maka memilih kecepatan pemakanan tidak dapat dikira-kira, untuk itu berlaku rumus yang dapat digunakan untuk menentukan kecepatan pemakanan, rumus tersebut adalah:

$$IPM = CL \times N \times RPM \dots\dots\dots^2$$

Keterangan:

IPM = *Feed rate*/kecepatan pemakanan dalam inchi/menit, apabila akan diubah dalam mm/menit karena 1 inchi = 25,4 mm maka :

$$IPM = CL \times N \times RPM \times 25,4$$

CL = *Chip load* atau pemakanan tiap mata potong

N = Jumlah mata potong *cutter*

RPM = Revolusi per menit dari *cutter*

Dalam proses permesinan walaupun ketiga faktor tersebut mempunyai peran yang besar terhadap hasil pengerjaan benda kerja tetapi ada beberapa hal pula yang tidak dapat dikesampingkan dalam setiap proses pengerjaan diantaranya faktor mesin, yaitu kemampuan daya mesin yang memadai, kepresisian mesin, kondisi mesin yang baik dan terawat, dan fasilitas-fasilitas yang tersedia seperti pendinginan, karena setiap proses pengerjaan akan menimbulkan panas sehingga agar alat potong dan benda kerja tidak mengalami kerusakan diperlukan pendingin. Selain itu arah pemotongan dari proses pengerjaan itu sendiri juga sangat menentukan hasil permukaan dari benda kerja, karena arah sayatan mata potong akan membentuk alur

² CNC Operation and Programming, hal 127

dan berpengaruh terhadap keausan alat potong dan juga kehalusan permukaan benda kerja. Arah pemakanan pada proses milling baik konvensional maupun CNC dibedakan menjadi dua yaitu arah pemakanan yang searah dengan putaran alat potong (mendaki) atau berlawanan arah dengan putaran alat potong (konvensional).



Keterangan : a. Pemakanan konvensional

b. Pemakanan mendaki

Gambar 2.19 Arah pemakanan

Sumber : St. Nunung G.R dan Eliezar S.P, Teori bengkel, hal 71

Pada pemakanan konvensional mula-mula alat potong (*cutter*) akan memakan benda kerja sedikit demi sedikit dan kemudian tatal yang terjadi semakin membesar. Pengerjaan secara konvensional ini lebih banyak dijumpai pada mesin milling konvensional, tetapi untuk beberapa kasus seperti pengerjaan besi tuang yang memiliki kekerasan permukaan yang lebih tinggi akan baik digunakan.

Untuk pemakanan mendaki atau *climbing* alat potong akan mengikis benda kerja secara tebal dahulu kemudian semakin lama tatal yang terjadi semakin tipis. Untuk pemakanan ini benda kerja akan menerima tekanan dari *cutter* dengan kuat bila mesin tidak dirancang secara khusus maka benda kerja dapat terdorong ke arah *cutter* yang mengakibatkan kerusakan pada alat potong maupun benda kerja. Proses pemakanan ini biasanya lebih disukai untuk mesin CNC yang memang memiliki rancangan yang khusus, karena memerlukan lebih sedikit tenaga untuk melakukan

pemakanan. Keuntungan lain dari proses ini adalah permukaan yang dihasilkan lebih halus, lebih kecil terjadinya lenturan pada alat potong, keawetan alat potong dan juga tatal yang dihasilkan akan jatuh jauh dari benda kerja.

2.8 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan dari bagian-bagian mesin dan juga bekas pengerjaannya merupakan faktor yang sangat penting untuk menjamin mutu bagian-bagian, seperti misalnya suaian atau ketahanan, maupun tampak dari bagian-bagian.

2.8.1 Definisi Kekasaran

Ada beberapa cara untuk menyatakan kekasaran permukaan. Terutama sekali “penyimpangan rata-rata aritmatik dari garis-garis profil” dipergunakan, sesuai perkembangan alat ukur dan persyaratan rencana. Di beberapa negara dipakai “sepuluh titik ketinggian R_z dari ketidak rataan” atau “ketinggian maksimum R_{max} dari ketidak rataan” secara konvensional.

Ketentuan-ketentuan dari tiga macam kekasaran permukaan dan nilai-nilai numeriknya digariskan dalam ISO/R 468-1966.

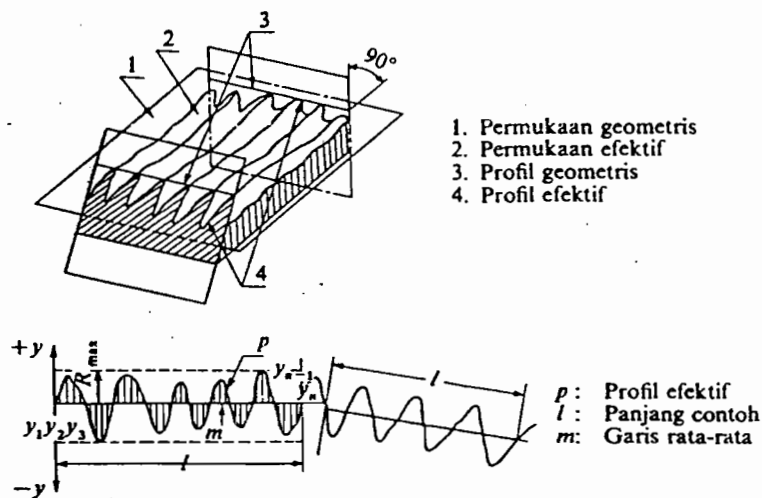
2.8.2 Penyimpangan rata-rata aritmatik dari garis-garis profil

Penyimpangan rata-rata aritmatik R_a ialah harga rata-rata dari ordinat-ordinat profil efektif garis rata-ratanya. Profil efektif berarti garis bentuk (*contour*) dari potongan permukaan efektif oleh sebuah bidang yang telah ditentukan secara konvensional, terhadap permukaan geometris ideal (Gambar 2.20).

Ordinat-ordinat ($y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$) dijumlahkan tanpa memperhitungkan tandanya :

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx$$

Kira-kira



Gambar 2.20 Penyimpangan rata-rata aritmatik R_a dari garis rata-rata profil

Sumber : Sato, Menggambar mesin menurut standar ISO, bab 15

$$Ra = \frac{\sum_l^n |y|}{n}$$

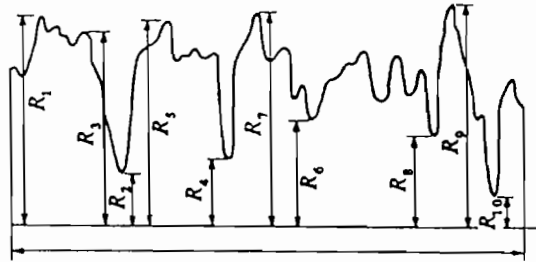
di mana l adalah panjang contoh yang telah ditentukan, yaitu panjang dari profil efektif yang diperlukan untuk menentukan kekasaran permukaan dari permukaan yang diteliti.

2.8.3 Ketidak rataan ketinggian sepuluh titik R_z

Ketidak rataan 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 tersebut (Gambar 2.21).

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

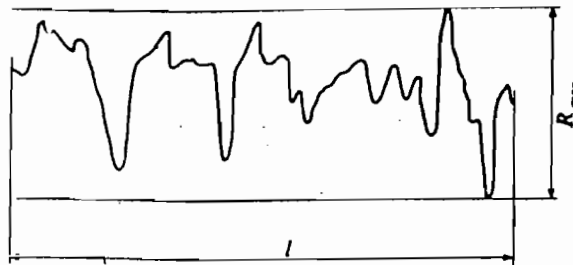


Gambar 2.21 : Ketinggian sepuluh titik R_z dari ketidak rataan

Sumber : Sato, Menggambar mesin menurut standar ISO, bab 15

2.8.4 Ketidak rataan ketinggian maksimum R_{max}

Ketidak rataan ketinggian maksimum R_{max} adalah jarak antara dua garis sejajar dengan rata-rata, dan menyinggung profil pada titik tertinggi dan terendah, antara panjang contoh (Gambar 2.22).



Gambar 2.22 : Tinggi maksimum R_{max} dari ketidak rataan

Sumber : Sato, Menggambar mesin menurut standar ISO, bab 15

2.8.5 Harga-harga R_a dan R_z

Seri harga untuk R_a dan R_z merupakan sebuah deret ukur dengan angka banding 1,25 yang sama (diutamakan seri angka R 10) diberikan dalam Tabel 2.1 dan 2.2.

Harga kekasaran hanya membatasi harga kekasaran tertinggi. Jika dipandang perlu untuk membatasi harga kekasaran maksimum dan minimum, harus diberikan dua harga batasan.

Tabel 2.1 Penyimpangan Aritmatik rata-rata R_a (satuan : mikrometer)

0,008			
0,001			
0,012	0,125	1,25	12,5
0,016	0,160	1,6	16
0,020	0,20	2,0	20
0,025	0,25	2,5	25
0,032	0,32	3,2	32
0,040	0,40	4,0	40
0,050	0,50	5,0	50
0,063	0,63	6,3	63
0,080	0,80	8,0	80
0,100	1,00	10,0	100

Sumber : Sato, Menggambar mesin menurut standar ISO, bab 15

Tabel 2.2 Ketidak rataan ketinggian sepuluh titik R_z

(satuan : mikrometer)

	0,125	1,25	12,5	125
	0,160	1,6	16	160
	0,20	2,0	20	200
	0,25	2,5	25	250
	0,32	3,2	32	320
0,040	0,40	4,0	40	400
0,050	0,50	5,0	50	500
0,063	0,63	6,3	63	630
0,080	0,80	8,0	80	800
0,100	1,00	10,0	100	1000

Sumber : Sato, Menggambar mesin menurut standar ISO, bab 15

Tabel 2.3 Hubungan antara R_a , R_z , R_{max} (satuan : mikrometer)

R_a	R_z	R_{max}
0,025	0,1	0,1
0,05	0,2	0,2
0,10	0,4	0,4
0,20	0,8	0,8
0,40	1,6	1,6
0,80	3,2	3,2

1,6	6,3	6,3
3,2	12,5	12,5
6,3	25	25
12,5	50	50
25	100	100
50	200	200
100	400	400

Sumber : Sato, Menggambar mesin menurut standar ISO, bab 15

Dalam standar nasional, seri dengan angka banding 2 (diutamakan seri angka R 10/3) atau 1,6 (diutamakan seri angka R 5) dapat dipergunakan. Dalam JIS (*Japanese Industrial Standards*) B0601, seri R 10/3 dipakai.

Hubungan antara R_a , R_z dan R_{max} tidak mudah ditentukan, karena profil dari permukaannya mempengaruhi hubungannya. Sebagai referensi, dalam hal puncak-puncaknya dengan ketinggian yang sama berada dalam satu baris, dapat dipakai hubungan yang terdapat pada Tabel 2.3.

2.8.6 Harga-harga untuk panjang contoh (sample) l

Untuk pengukuran kekasaran permukaan, seri harga panjang contoh l diberikan pada Tabel 2.4.

Hubungan antar harga-harga panjang contoh (dapat dilihat pada Tabel 2.4) dan harga-harga kekasaran (Tabel 2.1 dan 2.2) diperinci dalam standar-standar nasional.

Dalam JIS 0601 (kekasaran permukaan) persesuaiannya diperinci pada Tabel 2.5. Dalam hal R_a , panjang contoh diambil tiga kali atau lebih dari harga bulat. Harga-harga bulat yang diutamakan ialah:

0,08, 0,25, 0,8, 2,5, 8, 25,

dalam mm. Harga bulat standar adalah 0,8 mm.

Tabel 2.4 Panjang contoh l (satuan : mikrometer)

0,08	0,80	8,00
0,25	2,50	25,00

Tabel 2.5 Hubungan antara panjang contoh l dan kekasaran permukaan.

(JIS B0601)

R_z atau R_{max} (μm)		l (mm)
	< 0,8	0,25
0,8 <	< 0,63	0,8
6,3 <	< 25	2,5
25 <	< 100	8

Sumber : Sato, Menggambar mesin menurut standar ISO, bab 15

2.9 Hipotesa

Berdasarkan teori yang telah diuraikan diatas, maka penulis mempunyai dugaan awal untuk pengerjaan kantong melingkar dengan parameter D5 (arah pemakan) dan parameter D4 (kecepatan pemakanan radius terluar) yang berbeda, apabila mesin, bentuk, material benda kerja, dan alat potong yang dipakai dianggap sama adalah:

1. Pengerjaan mendaki dengan pemakanan berlawanan arah jarum jam ($D5 = 2$) akan memiliki tingkat kehalusan yang lebih baik daripada pengerjaan konvensional atau pemakanan searah jarum jam ($D5 = 3$), tetapi akan sama dalam waktu pengerjaan apabila kecepatan pemakanan dan kecepatan putaran spindel yang digunakan sama.
2. Pengaruh kecepatan pemakanan radius terluar kantong melingkar (parameter D4) yaitu, dengan kecepatan pemakanan terluar setengah dari kecepatan pemakanan nominal ($D4 = 1$) akan memiliki tingkat kehalusan yang lebih baik, tetapi waktu pengerjaan yang diperlukan akan lebih lama daripada proses dengan kecepatan pemakanan terluar sama dengan kecepatan pemakanan nominal ($D4 = 0$).
3. Kualitas permukaan yang dihasilkan untuk pemakanan sisi dan permukaan kantong melingkar akan sama untuk pengerjaan dengan parameter dan kecepatan putaran spindel yang sama.

BAB III

METODE PENELITIAN

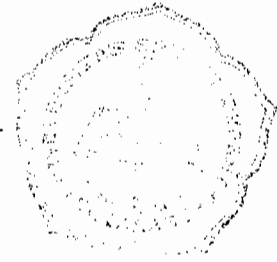
3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah ST 37, dengan ukuran \square 120 X 120 X 40 mm.

3.2 Alat yang dipergunakan

Adapun alat yang digunakan dalam proses pengerjaan dalam penelitian ini adalah:

1. Mesin CNC VMC 200 sebanyak satu buah, mesin ini termasuk mesin frais vertikal jenis produksi. Mesin ini berfungsi untuk membuat benda kerja sesuai dengan program yang akan dibuat.
2. *Computer Training Simulation* (CTS) sebanyak satu buah, CTS berfungsi untuk pengenalan tombol-tombol pada mesin, membuat program dan menguji program yang dibuat. Dengan menggunakan komputer tersebut dapat dilihat kesalahan yang terjadi pada program dan memperbaikinya.
3. Alat potong, semua alat potong yang digunakan terbuat dari HSS karena HSS telah dapat memenuhi kebutuhan untuk pengujian. Ada beberapa alat potong yang digunakan, yaitu sebuah *cutter end mill finishing* diameter 16 mm, satu buah bor diameter 10 mm dan sebuah bor diameter 16 mm.
4. Mesin *Roughness Tester* sebanyak satu buah, mesin ini berfungsi untuk mengetahui kekasaran benda kerja yang telah dibuat.



5. Alat ukur, alat ukur yang dipakai adalah jangka sorong sebanyak satu buah.
6. Alat pencatat waktu sebanyak satu buah.

3.3 Pelaksanaan penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini terbagi dalam beberapa langkah, langkah awal yaitu pemahaman dasar-dasar teori tentang mesin CNC pada umumnya dan mesin CNC VMC 200 khususnya. Langkah berikutnya adalah langkah permesinan, sebelum melaksanakan pengujian pada mesin VMC 200 terlebih dahulu diadakan pengenalan mesin dan pembuatan program dengan menggunakan *Computer Training Simulation* (CTS), setelah program yang dibuat diuji dan sesuai dengan yang diharapkan program ditransfer ke mesin VMC 200. Langkah ini dapat dikatakan merupakan tahap utama pada proses pengujian dimana pada langkah ini benda kerja dibentuk agar dapat diteliti, dalam penelitian *pocket* ini benda kerja diproses secara melingkar (*circular pocketing*) sebanyak delapan kali, dengan perincian:

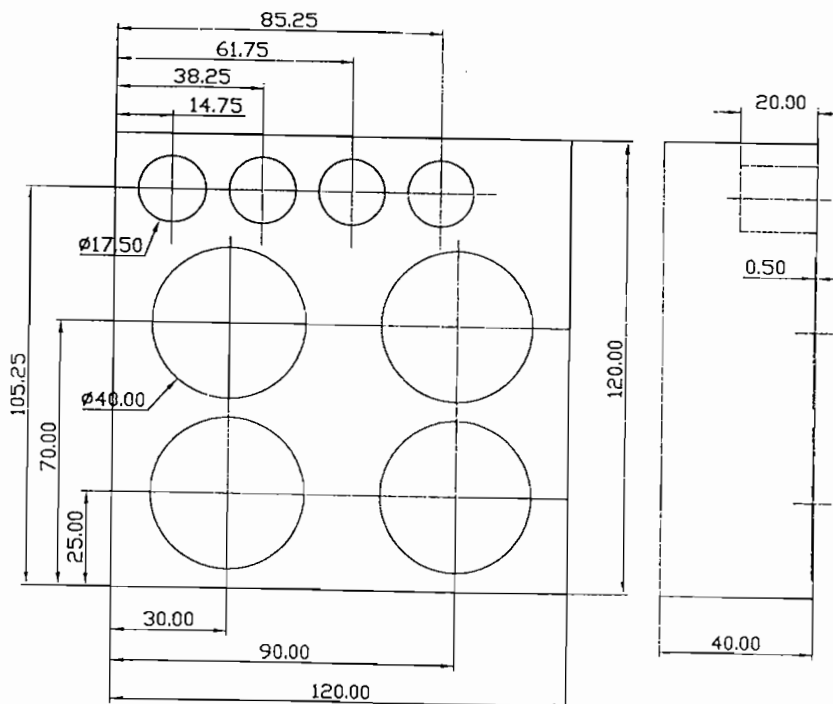
1. *Pocket* pertama dengan diameter 17,5 mm, dikerjakan sedalam 20 mm, dengan kecepatan pemakanan terluar sama dengan kecepatan pemakanan nominalnya (mengggunakan parameter $D4 = 0$) dan arah pemakanan berlawanan arah jarum jam (mengggunakan parameter $D5 = 2$).
2. *Pocket* kedua berdiameter 17,5 mm, dikerjakan sedalam 20 mm, dengan kecepatan pemakanan terluar sama dengan kecepatan pemakanan nominalnya (mengggunakan parameter $D4 = 0$) dan arah pemakanan searah jarum jam (mengggunakan parameter $D5 = 3$).
3. *Pocket* ketiga berdiameter 17,5 mm, dikerjakan sedalam 20 mm, dengan kecepatan pemakanan terluar setengah dari kecepatan pemakanan nominalnya

- (mengggunakan parameter $D4 = 1$) dan arah pemakanan berlawanan arah jarum jam (mengggunakan parameter $D5 = 2$).
4. *Pocket* keempat berdiameter 17,5 mm, dikerjakan sedalam 20 mm, dengan kecepatan pemakanan terluar setengah dari kecepatan pemakanan nominalnya (mengggunakan parameter $D4 = 1$) dan arah pemakanan searah jarum jam (mengggunakan parameter $D5 = 3$).
 5. *Pocket* kelima berdiameter 40 mm, dikerjakan sedalam 0,5 mm, dengan kecepatan pemakanan terluar sama dengan kecepatan pemakanan nominalnya (mengggunakan parameter $D4 = 0$) dan arah pemakanan berlawanan arah jarum jam (mengggunakan parameter $D5 = 2$).
 6. *Pocket* keenam berdiameter 40 mm, dikerjakan sedalam 0,5 mm, dengan kecepatan pemakanan terluar sama dengan kecepatan pemakanan nominalnya (mengggunakan parameter $D4 = 0$) dan arah pemakanan searah jarum jam (mengggunakan parameter $D5 = 3$).
 7. *Pocket* ketujuh berdiameter 40 mm, dikerjakan sedalam 0,5 mm, dengan kecepatan pemakanan terluar setengah dari kecepatan pemakanan nominalnya (mengggunakan parameter $D4 = 1$) dan arah pemakanan berlawanan arah jarum jam (mengggunakan parameter $D5 = 2$).
 8. *Pocket* pertama berdiameter 40 mm, dikerjakan sedalam 0,5 mm, dengan kecepatan pemakanan terluar setengah dari kecepatan pemakanan nominalnya (mengggunakan parameter $D4 = 1$) dan arah pemakanan searah jarum jam (mengggunakan parameter $D5 = 3$).

Pocket nomor satu hingga empat digunakan untuk mengetahui kekasaran dan waktu pengerjaan sisi atau dinding dari *pocket* melingkar, sedangkan *pocket* lima hingga

delapan berfungsi untuk mengetahui kekasaran permukaan benda kerja kantong melingkar. Untuk semua kantong melingkar, sebelum dikerjakan menggunakan *cutter* HSS dibuat terlebih dahulu lubang awal dengan menggunakan bor berdiameter 16 mm agar beban *cutter* untuk pemakanan tegak (vertikal) tidak terlalu berat.

Langkah selanjutnya adalah pengujian dan pencatatan data kekasaran *pocket* melingkar dengan menggunakan mesin *roughness tester*. Dan langkah yang terakhir adalah pengumpulan semua informasi yang diperlukan untuk pengambilan kesimpulan dan penulisan tugas akhir.



Gambar 3.1 Benda kerja dengan skala 1 : 2

3.3.1 Penentuan kecepatan pemakanan dan kecepatan spindel dalam proses pengerjaan

Untuk pembuatan semua benda uji dalam penelitian ini alat potong yang digunakan adalah *End Milling Cutter finishing* bermata empat dengan diameter 16

yang terbuat dari bahan HSS, kecepatan potong untuk material ST 37 berdasarkan Tabel 3.1 ditetapkan sebesar 90 – 120 feet per menit dan jika diubah dalam satuan meter per menit (1 feet = 0,3048 meter) adalah 27,432 – 36,576 m/menit. C_s yang digunakan adalah 30 m/menit, maka perhitungan untuk menentukan kecepatan spindle menggunakan persamaan 1 adalah:

$$n = \frac{1000 \times C_s}{\pi \times d}$$

Dari persamaan tersebut akan didapat hasil untuk kecepatan putaran spindle :

$$596,831 = \frac{1000 \times 30}{\pi \times 16}$$

Dari hasil perhitungan tersebut selanjutnya kecepatan putaran spindle, yang besarnya sama dengan kecepatan putaran *cutter*, pada mesin diambil yang paling mendekati dari perhitungan teoritis, dalam penelitian ini kecepatan putaran spindle yang digunakan adalah 600 rpm, dengan pertimbangan bahwa perhitungan secara teoritis tersebut menggunakan kecepatan potong yang terletak diantara dua batas nilai kecepatan potong, maka pendekatan yang diambil dapat merupakan pendekatan kebawah maupun keatas, dalam kasus ini pendekatan yang diambil adalah pendekatan keatas. Sedangkan untuk kecepatan pemakanan menggunakan persamaan 2, yaitu :

$$\text{IPM (inchi/menit)} = \text{CL} \times \text{N} \times \text{RPM}$$

Apabila digunakan kecepatan putaran *cutter* 600 rpm dan untuk pemakanan tiap mata potong diambil 0,002, berdasarkan Tabel 3.2, maka

$$121,92 \text{ (mm/menit)} = 0,002 \times 4 \times 600 \times 25,4$$

Dengan pertimbangan untuk keamanan dan bahwa *feed rate* tersebut berlaku untuk semua keadaan ideal, maka dilakukan pendekatan kebawah menjadi 120 mm/menit.

Tabel 3.1 Kecepatan potong untuk material yang umum digunakan

Material	Cutting Speed, SFPM	
	HSS	Carbide
Plain Low Carbon Steel	90-120	270-450
Plain Medium Carbon Steel	70-100	225-375
Plain High Carbon Steel	30-70	145-300
Cast Iron, Soft	100-150	325-500
Cast Iron, Medium	70-120	225-400
Cast Iron, Hard	30-100	145-375
Alloy Steel, Normalized	30-90	145-350
Aluminium	200-300	500-950
Stainless Steel, Free Machining	65-90	200-300

Sumber : Jon S dan Kelly C, CNC Operation and Programming, hal 129

Tabel 3.2 Kecepatan pemakanan *cutter end milling* HSS

Recommended Feed in Inches per Tooth (chip load)	End Mills		
	Sizes in Inches		
Material	1/2	3/4	1 & up
Plain Low Carbon Steel	.001	.003	.003
Plain Medium Carbon Steel	.001	.002	.003
Plain High Carbon Steel	.001	.002	.002
Cast Iron, Soft	.001	.003	.003
Cast Iron, Medium	.001	.002	.003
Cast Iron, Hard	.001	.002	.002
Alloy Steel, Normalized	.001	.002	.002
Aluminium	.003	.003	.005
Stainless Steel, Free Machining	.001	.002	.003

Sumber : Jon S dan Kelly C, CNC Operation and Programming, hal 128

3.4 Penjelasan program

Penjelasan program dari benda kerja yang dibuat adalah:

N 0000 : G54 (Pergeseran posisi mesin)

N 0010 : G92 X -60.000 Y-60.000 Z0.000 (Pencatat penetapan untuk titik nol benda kerja, di ujung kiri bawah benda kerja)

N 0020 : G59 (Pergeseran posisi)

N 0030 : T0303 M03 S600 F120 M08 (Pemilihan alat pada *magazine* mesin no. 3 dengan data no. 3)

N 0040 : G00 X14.750 Y105.250 Z1.000 (Gerakan cepat menuju titik X14,750, Y105,250 dan Z1,000)

N 0050 : G88 X14.750 Y105.250 Z-20.000 P1=17.500 P3=1.000 D2=750 D3=1000 D4=0 D5=2 D7=1 F120 (Pembuatan *pocket* melingkar dengan pemakanan horisontal sebesar 0,75 mm hingga diameter 17,5 mm, pemakanan vertikal 1 mm hingga sedalam 20 mm, dengan kecepatan pemakanan terluar sama dengan kecepatan pemakanan nominalnya yaitu 120 mm/men dan menggunakan pemakanan mendaki)

N 0060 : G00 X38,250 Y105,250 Z1,000 (Gerakan cepat menuju titik X38,250, Y105,250 dan Z1,000)

N 0070 : G88 X38.250 Y105.250 Z-20.000 P1=17.500 P3=1.000 D2=750 D3=1000 D4=0 D5=3 D7=1 F120 (Pembuatan *pocket* melingkar dengan pemakanan horisontal sebesar 0,75 mm hingga diameter 17,5 mm, pemakanan vertikal 1 mm hingga sedalam 20 mm, dengan kecepatan pemakanan terluar sama dengan kecepatan pemakanan nominalnya yaitu 120 mm/men dan menggunakan pemakanan konvensional)

N 0080 : G00 X61.750 Y105.250 Z1.000 (Gerakan cepat menuju titik X61,750, Y105,250 dan Z1,000)

N 0090 : G88 X61.750 Y105.250 Z-20.000 P1=17.500 P3=1.000 D2=750 D3=1000 D4=1 D5=2 D7=1 F120 (Pembuatan *pocket* melingkar dengan pemakanan horisontal sebesar 0,75 mm hingga diameter 17,5 mm, pemakanan vertikal 1 mm hingga sedalam 20 mm, dengan kecepatan pemakanan terluar setengah dari kecepatan pemakanan nominalnya yaitu 60 mm/men dan menggunakan pemakanan mendaki)

N 0100 : G00 X85.250 Y105.250 Z1.000 (Gerakan cepat menuju titik X85,250, Y105,250 dan Z1,000)

N 0110 : G88 X85.250 Y105.250 Z-20.000 P1=17.500 P3=1.000 D2=750 D3=1000 D4=1 D5=3 D7=1 F120 (Pembuatan *pocket* melingkar dengan pemakanan horisontal sebesar 0,75 mm hingga diameter 17,5 mm, pemakanan vertikal 1 mm hingga sedalam 20 mm, dengan kecepatan pemakanan terluar setengah dari kecepatan pemakanan nominalnya yaitu 60 mm/men dan menggunakan pemakanan konvensional)

N 0120 : G00 X30.000 Y70.000 Z1.000 (Gerakan cepat menuju titik X30,000, Y70,000 dan Z1,000)

N 0130 : G88 X30.000 Y70.000 Z-0.500 P1=40.000 P3=1.000 D2=2400 D3=0.500 D4=0 D5=2 D7=1 F120 (Pembuatan *pocket* melingkar dengan pemakanan horisontal sebesar 2,4 mm hingga diameter 40 mm, pemakanan vertikal sedalam 0,5 mm, dengan kecepatan pemakanan terluar sama dengan kecepatan pemakanan nominalnya yaitu 120 mm/men dan menggunakan pemakanan mendaki)

- N 0140 : G00 X90.000 Y70.000 Z1.000 (Gerakan cepat menuju titik X90,000, Y70,000 dan Z1,000)
- N 0150 : G88 X90.000 Y70.000 Z-0.500 P1=40.000 P3=1.000 D2=2400 D3=0.500 D4=0 D5=3 D7=1 F120 (Pembuatan *pocket* melingkar dengan pemakanan horisontal sebesar 2,4 mm hingga diameter 40 mm, pemakanan vertikal sedalam 0,5 mm, dengan kecepatan pemakanan terluar sama dengan kecepatan pemakanan nominalnya yaitu 120 mm/men dan menggunakan pemakanan konvensional)
- N 0160 : G00 X30.000 Y25.000 Z1.000 (Gerakan cepat menuju titik X30,000, Y25,000 dan Z1,000)
- N 0170 : G88 X30.000 Y25.000 Z-0.700 P1=40.000 P3=1.000 D2=2400 D3=0.500 D4=1 D5=2 D7=1 F120 (Pembuatan *pocket* melingkar dengan pemakanan horisontal sebesar 2,4 mm hingga diameter 40 mm, pemakanan vertikal sedalam 0,5 mm, dengan kecepatan pemakanan terluar setengah dari kecepatan pemakanan nominalnya yaitu 60 mm/men dan menggunakan pemakanan mendaki)
- N 0180 : G00 X90.000 Y25.000 Z1.000 (Gerakan cepat menuju titik X90,000, Y25,000 dan Z1,000)
- N 0190 : G88 X90.000 Y25.000 Z-0.500 P1=40.000 P3=1.000 D2=2400 D3=0.500 D4=1 D5=3 D7=1 F120 (Pembuatan *pocket* melingkar dengan pemakanan horisontal sebesar 2,4 mm hingga diameter 40 mm, pemakanan vertikal sedalam 0,5 mm, dengan kecepatan pemakanan terluar setengah dari kecepatan pemakanan nominalnya yaitu 60 mm/men dan menggunakan pemakanan konvensional)

N 0200 : G00 Z15.000 (Gerakan cepat ke titik X90,000, Y25,000 dan Z15,000)

N 0210 : T0000 G53 G56 M03 (Pembatalan data alat potong, G54 dan G59)

N 0220 : M30 (Program berakhir dan kembali ke awal program)

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Dari penelitian yang telah dilaksanakan, yaitu penelitian untuk mengetahui pengaruh parameter yang berbeda pada proses pengerjaan kantong melingkar (*circular pocketing*) dengan menggunakan mesin CNC VMC 200, akan menghasilkan empat proses penelitian. Penelitian pertama adalah penelitian kekasaran serta waktu pengerjaan dinding dari kantong melingkar dengan parameter $D5 = 2$, yaitu pemakanan secara mendaki (arah pemakanan searah dengan arah putaran alat potong yang berarti untuk pembuatan kantong melingkar gerakan alat potong akan berlawanan dengan arah jarum jam) dan penelitian kedua adalah penelitian kekasaran dan waktu pengerjaan permukaan dari kantong melingkar dengan parameter yang sama seperti penelitian pertama.

Penelitian ketiga adalah penelitian kekasaran serta waktu pengerjaan dinding dari kantong melingkar dengan parameter $D5 = 3$, yaitu pemakanan secara konvensional (arah pemakanan berlawanan dengan arah putaran alat potong yang berarti untuk pembuatan kantong melingkar gerakan alat potong akan searah dengan arah jarum jam) dan penelitian yang terakhir adalah penelitian kekasaran dan waktu pengerjaan permukaan dari kantong melingkar dengan parameter yang sama dengan penelitian ketiga.

Dari hasil yang diperoleh, maka akan dapat diperbandingkan tingkat kekasaran serta waktu pengerjaan yang terjadi apabila menggunakan parameter $D5$

yang berbeda dan pengaruh perubahan parameter penghalusan D4 yang digunakan, yaitu $D4 = 0$ (kecepatan pemakanan radius terluar kantong melingkar sama seperti kecepatan pemakanan nominalnya) dan $D4 = 1$ (kecepatan pemakanan radius terluar kantong melingkar setengah dari kecepatan pemakanan nominalnya).

Sehingga secara keseluruhan akan dihasilkan delapan buah benda kerja yang dapat memberikan gambaran dalam pembahasan tentang pengaruh parameter D5, untuk arah pemakanan, dan parameter penghalusan D4, untuk kecepatan pemakanan radius terluar kantong melingkar. Adapun hasil pengujian tersebut dalam tabel, adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil pengerjaan dinding dengan parameter $D4 = 0$ dan $D5 = 2$

Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm

(satuan mikrometer)

	Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	Pengujian IV
R_a	1,32	1,36	1,36	1,38
R_z	9,18	8,98	9,24	9,12
R_{max}	11,54	11,60	11,80	11,90

Tabel 4.2 Hasil pengerjaan dinding dengan parameter $D4 = 0$ dan $D5 = 3$

Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm

(satuan mikrometer)

	Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	Pengujian IV
R_a	1,65	1,88	1,64	1,68
R_z	9,36	9,40	8,92	9,42
R_{max}	12,32	12,62	11,24	11,68

Tabel 4.3 Hasil pengerjaan dinding dengan parameter $D4 = 1$ dan $D5 = 2$

Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm

(satuan mikrometer)

	Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	Pengujian IV
R_a	1,26	1,26	1,32	1,28
R_z	8,04	7,56	8,32	8,22
R_{max}	8,74	8,98	9,12	8,54

Tabel 4.4 Hasil pengerjaan dinding dengan parameter $D4 = 1$ dan $D5 = 3$

Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm

(satuan mikrometer)

	Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	Pengujian IV
R_a	1,32	1,28	1,30	1,24
R_z	9,23	8,64	9,12	8,89
R_{max}	11,68	12,34	12,42	11,92

Tabel 4.5 Hasil pengerjaan permukaan dengan parameter $D4 = 0$ dan $D5 = 2$

Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm

(satuan mikrometer)

	Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	Pengujian IV
R_a	2,40	2,56	2,48	2,51
R_z	14,56	17,84	16,34	15,92
R_{max}	20,10	19,32	19,98	19,90

Tabel 4.6 Hasil pengerjaan permukaan dengan parameter D4 = 0 dan D5 = 3
Menggunakan F = 120 mm/menit dan S = 600 rpm
 (satuan mikrometer)

	Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	Pengujian IV
R_a	2,88	2,98	2,91	2,82
R_z	16,48	17,92	16,92	16,62
R_{max}	16,10	20,26	17,54	18,54

Tabel 4.7 Hasil pengerjaan permukaan dengan parameter D4 = 1 dan D5 = 2
Menggunakan F = 120 mm/menit dan S = 600 rpm
 (satuan mikrometer)

	Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	Pengujian IV
R_a	2,36	2,16	2,68	2,52
R_z	15,68	16,36	15,92	16,22
R_{max}	18,26	19,38	19,24	19,06

Tabel 4.8 Hasil pengerjaan permukaan dengan parameter D4 = 1 dan D5 = 3
Menggunakan F = 120 mm/menit dan S = 600 rpm
 (satuan mikrometer)

	Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	Pengujian IV
R_a	2,96	2,88	2,91	2,82
R_z	14,98	19,11	15,24	16,24
R_{max}	19,92	18,76	19,22	18,98

Tabel 4.9 Waktu pengerjaan dengan parameter $D4 = 0$ dan $D5 = 2$ **Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm**

	Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	Pengujian IV
Dinding	5 men 43 det	5 menit 42 det	5 menit 42 det	5 men 43 det
Permukaan	2 men 55 det	2 men 57 det	2 men 57 det	2 men 55 det

Tabel 4.10 Waktu pengerjaan dengan parameter $D4 = 0$ dan $D5 = 3$ **Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm**

	Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	Pengujian IV
Dinding	5 men 40 det	5 menit 41 det	5 menit 42 det	5 men 42 det
Permukaan	2 men 54 det	2 men 55 det	2 men 57 det	2 men 55 det

Tabel 4.11 Waktu pengerjaan dengan parameter $D4 = 1$ dan $D5 = 2$ **Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm**

	Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	Pengujian IV
Dinding	9 men 20 det	9 men 21 det	9 men 21 det	9 men 21 det
Permukaan	3 men 45 det	3 men 46 det	3 men 46 det	3 men 46 det

Tabel 4.12 Waktu pengerjaan dengan parameter $D4 = 1$ dan $D5 = 3$ **Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm**

	Pengujian I	Pengujian II	Pengujian III	Pengujian IV
Dinding	9 men 22 det	9 men 22 det	9 men 21 det	9 men 21 det
Permukaan	3 men 46 det	3 men 45 det	3 men 45 det	3 men 47 det

Dari nilai kekasaran dan waktu pengerjaan yang dihasilkan menggunakan parameter D4 dan D5 yang berbeda tersebut apabila dirata-rata maka akan mendapatkan harga kekasaran rata-rata dan waktu pengerjaan pengerjaan rata-rata. Dengan menggunakan tabel harga kekasaran rata-rata dan tabel waktu pengerjaan rata-rata tersebut akan dapat dilakukan pembahasan mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan.

Tabel 4.13 Harga kekasaran rata-rata pengerjaan dinding

dengan parameter D4 = 0 dan D5 = 2

Menggunakan F = 120 mm/menit dan S = 600 rpm

(satuan mikrometer)

	Nilai kekasaran rata-rata
R_a	1,355
R_z	9,130
R_{max}	11,710

Tabel 4.14 Harga kekasaran rata-rata pengerjaan dinding

dengan parameter D4 = 0 dan D5 = 3

Menggunakan F = 120 mm/menit dan S = 600 rpm

(satuan mikrometer)

	Nilai kekasaran rata-rata
R_a	1,713
R_z	9,275
R_{max}	11,965

Tabel 4.15 Harga kekasaran rata-rata pengerjaan dindingdengan parameter $D4 = 1$ dan $D5 = 2$ Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm

(satuan mikrometer)

	Nilai kekasaran rata-rata
R_a	1,280
R_z	8,035
R_{max}	8,845

Tabel 4.16 Harga kekasaran rata-rata pengerjaan dindingdengan parameter $D4 = 1$ dan $D5 = 3$ Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm

(satuan mikrometer)

	Nilai kekasaran rata-rata
R_a	1,285
R_z	8,970
R_{max}	12,090

Tabel 4.17 Harga kekasaran rata-rata pengerjaan permukaandengan parameter $D4 = 0$ dan $D5 = 2$ Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm

(satuan mikrometer)

	Nilai kekasaran rata-rata
R_a	2,488
R_z	16,165
R_{max}	19,825

**Tabel 4.18 Harga kekasaran rata-rata pengerjaan permukaan
dengan parameter D4 = 0 dan D5 = 3**

Menggunakan F = 120 mm/menit dan S = 600 rpm

(satuan mikrometer)

	Nilai kekasaran rata-rata
R_a	2,898
R_z	16,985
R_{max}	18,110

**Tabel 4.19 Harga kekasaran rata-rata pengerjaan permukaan
dengan parameter D4 = 1 dan D5 = 2**

Menggunakan F = 120 mm/menit dan S = 600 rpm

(satuan mikrometer)

	Nilai kekasaran rata-rata
R_a	2,430
R_z	16,045
R_{max}	18,985

**Tabel 4.20 Harga kekasaran rata-rata pengerjaan permukaan
dengan parameter D4 = 1 dan D5 = 3**

Menggunakan F = 120 mm/menit dan S = 600 rpm

(satuan mikrometer)

	Nilai kekasaran rata-rata
R_a	2,893
R_z	16,393
R_{max}	19,220

**Tabel 4.21 Waktu pengerjaan rata-rata dengan parameter $D4 = 0$ dan $D5 = 2$
Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm**

	Waktu pengerjaan rata-rata pengujian
Dinding	5 menit 42,30 detik
Permukaan	2 menit 56,00 detik

**Tabel 4.22 Waktu pengerjaan rata-rata dengan parameter $D4 = 0$ dan $D5 = 3$
Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm**

	Waktu pengerjaan rata-rata pengujian
Dinding	5 menit 41,15 detik
Permukaan	2 menit 55,15 detik

**Tabel 4.23 Waktu pengerjaan rata-rata dengan parameter $D4 = 1$ dan $D5 = 2$
Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm**

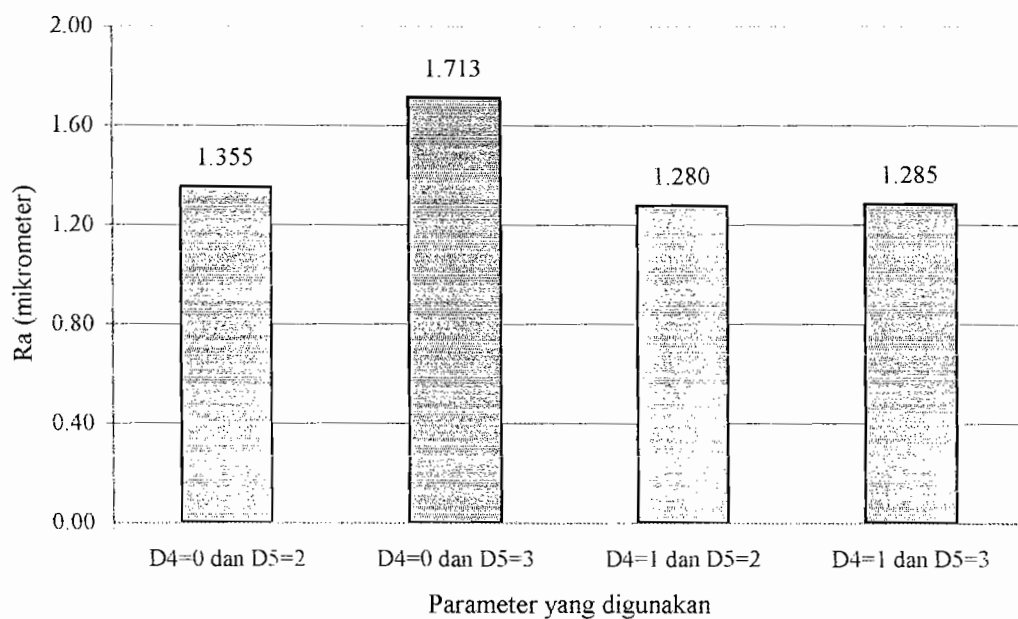
	Waktu pengerjaan rata-rata pengujian
Dinding	9 menit 20,45 detik
Permukaan	3 menit 45,45 detik

**Tabel 4.24 Waktu pengerjaan rata-rata dengan parameter $D4 = 1$ dan $D5 = 3$
Menggunakan $F = 120$ mm/menit dan $S = 600$ rpm**

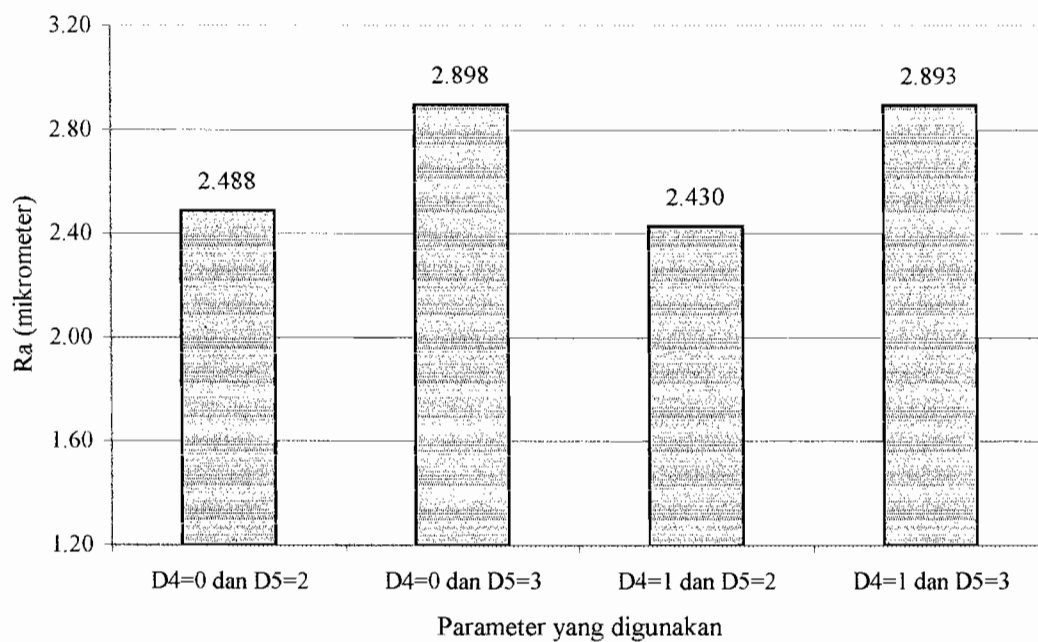
	Waktu pengerjaan rata-rata pengujian
Dinding	9 menit 21,30 detik
Permukaan	3 menit 45,45 detik

Dari tabel kekasaran rata-rata dan waktu pengerjaan untuk masing-masing proses yang dibuat berdasarkan benda kerja yang dihasilkan akan terlihat perbedaan baik tingkat kekasaran maupun waktu pengerjaan antara proses yang satu dengan proses yang lainnya.

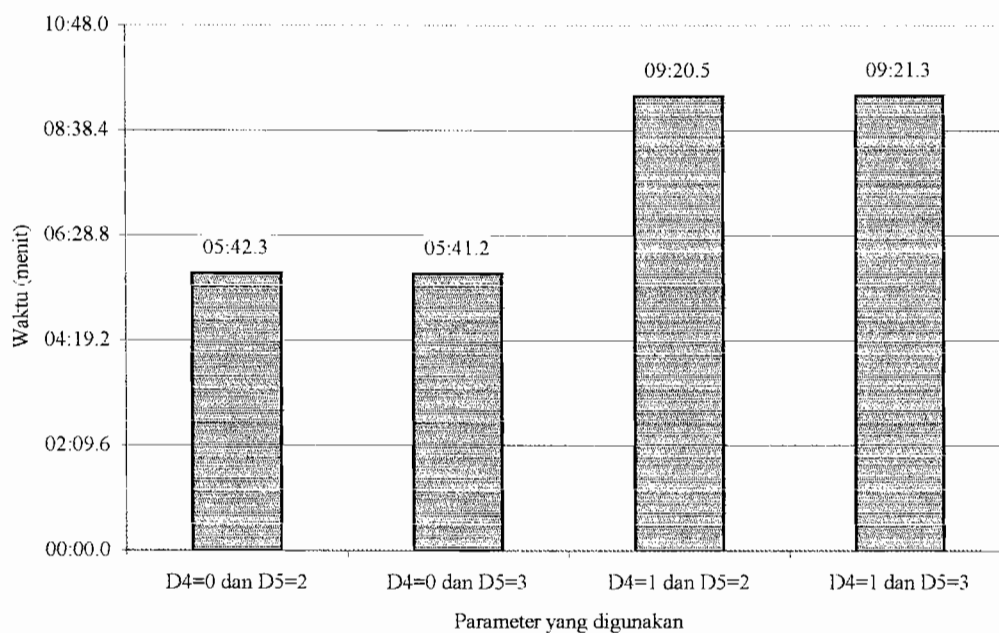
Apabila tingkat kekasaran R_a pada masing-masing pengerjaan dibuat suatu grafik perbandingan dan waktu pengerjaan juga dibuat grafik perbandingan untuk tiap proses maka akan terbentuk grafik-grafik sebagai berikut:



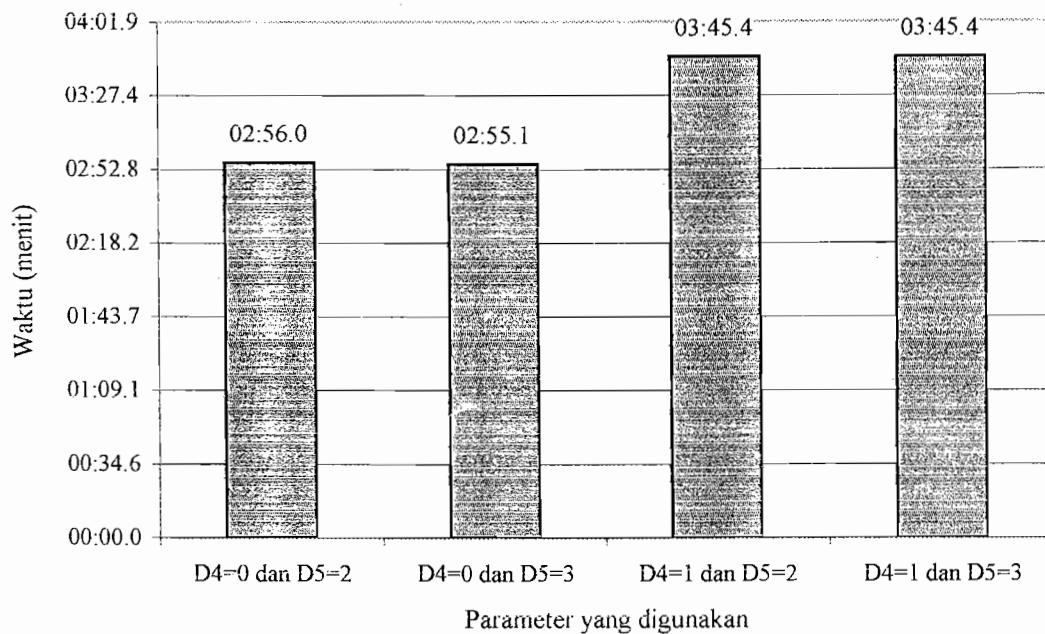
Gambar 4.1 Grafik pengaruh parameter D4 dan D5 terhadap kekasaran dinding kantong melingkar



Gambar 4.2 Grafik pengaruh parameter D4 dan D5 terhadap kekasaran permukaan kantong melingkar



Gambar 4.3 Grafik pengaruh parameter D4 dan D5 terhadap waktu pengerjaan dinding kantong melingkar



Gambar 4.4 Grafik pengaruh parameter D4 dan D5 terhadap waktu pengerjaan permukaan kantong melingkar

4.2 Pembahasan

Berdasarkan grafik-grafik yang telah dibuat, maka dapat dilihat dan diperbandingkan antara masing-masing proses pengerjaan, dalam grafik pada Gambar 4.1 untuk pengerjaan dinding dari kantong melingkar dapat diamati bahwa pembuatan dinding dengan memakai parameter $D4 = 1$ akan memiliki tingkat kehalusan yang lebih baik daripada menggunakan parameter $D4 = 0$. Sedangkan pengaruh parameter $D5$ dalam pengerjaan dinding adalah, untuk pengerjaan menggunakan $D4 = 1$, baik pengerjaan dengan parameter $D5 = 2$ maupun $D5 = 3$ tingkat kekasaran yang terjadi tidak begitu berbeda, tetapi pada pengerjaan dengan menggunakan parameter $D4 = 0$ akan terlihat bahwa hasil pengujian dengan menggunakan parameter $D5 = 2$ akan memiliki tingkat kehalusan yang lebih baik daripada menggunakan parameter $D5 = 3$.

Untuk proses pengerjaan muka dapat dilihat dari selisih kekasaran yang terjadi seperti yang digambarkan grafik pada Gambar 4.2, proses pengerjaan dengan menggunakan parameter $D4$, baik parameter $D4 = 0$ maupun $D4 = 1$, tingkat kekasaran yang terjadi hampir dapat dikatakan tidak mempunyai perbedaan yang berarti, hal ini berlaku untuk proses pengerjaan dengan parameter $D5 = 2$ atau parameter $D5 = 3$. Secara keseluruhan dengan membandingkan antara grafik pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 akan terlihat bahwa kehalusan yang terjadi pada pemakanan dinding/sisi dari pengerjaan kantong akan lebih baik daripada pengerjaan muka.

Adapun pengaruh parameter $D4$ dan $D5$ terhadap waktu dapat dilihat dari grafik pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4, dalam kedua grafik tersebut dimana pengaruh parameter $D4$ dan $D5$ terhadap proses pengerjaan dinding dan permukaan adalah bahwa parameter $D5$ sebagai parameter arah pengerjaan tidak memiliki pengaruh terhadap perbedaan waktu pengerjaan, perbedaan waktu yang terjadi merupakan kesalahan manusiawi penulis semata dalam pencatatan waktu. Untuk parameter $D4$ dari kedua grafik tersebut dapat diamati bahwa untuk pengerjaan dengan menggunakan parameter $D4 = 1$ yang memiliki kecepatan pemakanan lebih lambat akan membuat waktu pengerjaan yang diperlukan juga lebih lama.

Pembahasan juga dapat dilakukan berdasarkan tabel-tabel yang ada, dari perbandingan Tabel 4.13 dan 4.15 atau perbandingan dari Tabel 4.14 dan 4.16 untuk pemakanan dinding dalam proses pembuatan kantong melingkar, akan terlihat perbedaan tingkat kekasaran yang besar. Di sini dapat diamati bahwa $D4$ sebagai parameter penghalusan menjadi faktor penting dalam menentukan kekasaran dinding dari kantong melingkar. Tabel 4.13 dan 3.14 menunjukkan bahwa dengan parameter

$D4 = 0$ akan menghasilkan benda kerja yang relatif lebih kasar apabila memakai parameter $D4 = 1$ (Tabel 4.15 dan 4.16). Hal ini dapat dipahami karena dengan kecepatan spindel yang relatif sama maka kecepatan pemakanan untuk radius terluar akan memberikan hasil yang berbeda, dengan $D4 = 1$ yang berarti kecepatan pemakanan untuk radius terluar setengah dari kecepatan pemakanan nominalnya maka sisi alat potong akan dapat menyayat dengan lebih teliti sehingga kekasaran yang dihasilkan juga akan lebih baik. Pengaruh parameter $D5$ sendiri untuk proses pemakanan sisi walaupun selisih tingkat kekasaran yang terjadi cukup kecil, terutama perbandingan antara Tabel 4.15 dan 4.16, dapat dilihat bahwa untuk pemakanan sisi proses pengerjaan menggunakan parameter $D5 = 2$ tetap memiliki tingkat kehalusan yang lebih baik daripada dengan menggunakan parameter $D5 = 3$. Perbedaan yang cukup jelas dapat dilihat perbandingan antara tabel 4.13 dan 4.14.

Untuk pengaruh parameter $D5$ terhadap kekasaran proses pemakanan muka dapat dilihat dari perbandingan antara Tabel 4.19 dan 4.20, pengerjaan dengan parameter $D5 = 2$ akan menghasilkan permukaan yang lebih halus daripada dengan menggunakan parameter $D5 = 3$. Secara teoritis hal ini dapat diterangkan sebagai berikut, parameter $D5 = 2$ yang merupakan pemakanan mendaki (*climb milling*) dimana pada prinsipnya adalah pemakanan benda kerja dari bagian yang lebih tebal kemudian diteruskan ke bagian yang lebih tipis, merupakan pemakanan yang baik dilakukan pada mesin yang dirancang secara khusus seperti pada mesin CNC maka tentu saja pemakanan ini akan menghasilkan benda kerja yang memiliki kualitas permukaan yang lebih baik, selain itu pemakanan ini juga mempunyai keuntungan lain seperti misalnya, akan mengurangi lenturan alat potong dan akan memperlama umur alat potong. Perbandingan antara Tabel 4.17 dan 4.19, atau antara Tabel 4.18

dan 4.20 akan terlihat tingkat kekasaran yang tidak begitu berbeda, hal ini disebabkan karena pengaruh parameter D4 untuk pemakananan muka hampir tidak ada, tetapi akan berpengaruh untuk pemakananan dinding, juga dikarenakan sisi potong *cutter end mills finishing* untuk pemakanan samping berupa alur sehingga bidang yang menyayat benda kerja lebih banyak dan teliti daripada pemakanan muka yang memiliki sisi potong berupa garis.

Sedangkan pengaruh parameter-parameter tersebut terhadap waktu dapat dilihat pada Tabel 4.21 dan 4.23 maupun pada Tabel 4.22 dan 4.24, dimana pada tabel-tabel tersebut terlihat bahwa pengaruh parameter D5 sebagai parameter arah pemakanan tidak ada, waktu yang digunakan dalam proses *climb milling* atau konvensional baik pada pemakanan sisi maupun pemakanan muka dapat dikatakan sama perbedaan waktu yang terjadi hanyalah kesalahan pencatatan waktu. Selanjutnya untuk parameter D4 yang berpengaruh terhadap kecepatan pemakanan, terlihat bahwa semakin lambat kecepatan pemakanan yang digunakan ($D4 = 1$), maka akan semakin banyak waktu yang diperlukan untuk proses pengerjaan benda kerja tersebut, hal ini berlaku untuk proses pemakanan sisi maupun proses pemakanan muka.

Apabila material benda kerja diganti tetapi alat potong yang digunakan sama atau material benda kerja tetap tetapi alat potong yang digunakan berbeda (misalnya menggunakan *cutter inserted carbide*) berdasarkan dari teori yang ada dan juga melihat dari hasil penelitian, maka penulis memiliki prediksi bahwa untuk masing-masing proses dengan parameter yang sama seperti yang digunakan dalam penelitian ini akan juga mempunyai grafik tingkat kekasaran yang sama jika data teknis yang ada telah sesuai dengan perhitungan atau berdasarkan tabel yang telah ditentukan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Bahwa pengerjaan kantong melingkar dengan mesin CNC VMC 200, terutama untuk pemakanan muka, dengan menggunakan pemakanan mendaki (parameter $D5 = 2$) akan menghasilkan kualitas permukaan yang lebih baik daripada menggunakan pemakanan konvensional (parameter $D5 = 3$). Waktu yang ditempuh baik untuk proses pemakanan mendaki maupun konvensional akan sama, dengan catatan, kecepatan putaran spindel dan kecepatan pemakanan yang digunakan untuk kedua proses pemakanan tersebut juga sama.
2. Pengaruh parameter penghalusan $D4$ adalah, dengan parameter penghalusan $D4 = 1$ (kecepatan pemakanan radius terluar setengah dari kecepatan pemakanan nominal) akan memiliki tingkat kehalusan yang lebih baik, tetapi waktu pengerjaan yang diperlukan lebih lama, daripada proses dengan parameter $D4 = 0$ (kecepatan pemakanan radius terluar sama dengan kecepatan pemakanan nominal).
3. Secara umum kualitas permukaan yang dihasilkan untuk pemakanan sisi dan muka akan lebih baik pada pemakanan sisi, selain karena pada pemakanan muka parameter penghalusan $D4$ hampir tidak berpengaruh dan akan sangat berpengaruh untuk proses pemakanan sisi, juga dikarenakan sisi potong *cutter*

finishing untuk pemakanan samping berupa alur sehingga untuk proses pemotongan akan lebih baik.

5.2 Saran

Adapun saran-saran dari penulis dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Sebaiknya mahasiswa selaku peneliti melakukan dan mengamati langsung proses dari penelitian, sehingga akan mengetahui dengan pasti permasalahan-permasalahan dan kesulitan-kesulitan yang dialami selama penelitian berlangsung.
2. Selama pengujian dengan mesin CNC karena biaya sewa mesin yang mahal, peneliti harus benar-benar paham dasar-dasar mesin tersebut, pengenalan dapat dilakukan melalui *Computer Training Simulation* (CTS), sehingga pada waktu menjalankan mesin tidak mengalami kebingungan yang akan membuat banyak waktu terbuang percuma.
3. Proses pembuatan program tidak harus menggunakan CTS tetapi dapat juga dengan menggunakan program CAM, dengan CAM akan lebih cepat dan mudah karena program akan terbuat dengan sendirinya, apabila tersedia laboratorium CAD - CAM hal ini akan sangat membantu terutama dalam pembuatan bentuk-bentuk yang rumit.
4. Sebelum menjalankan mesin pastikan bahwa semua peralatan yang diperlukan tersedia dan dalam kondisi yang baik, sehingga tidak terjadi hal yang tidak diinginkan.

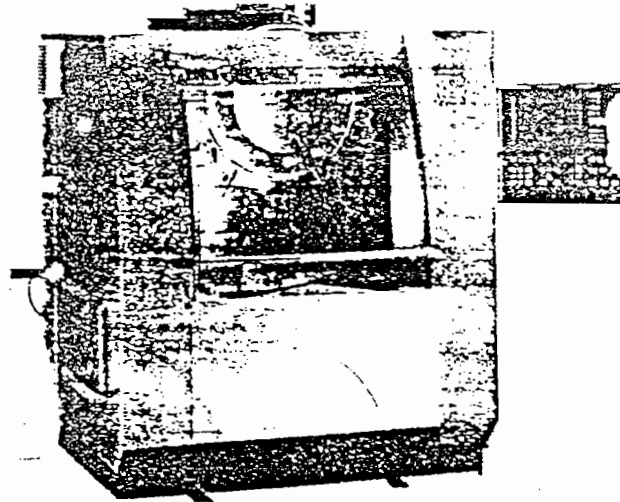


DAFTAR PUSTAKA

- DeGarmo, E.P. 1997. *Material and Processes in Manufacturing*, 8th ed., Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458, USA.
- Groover, M.P. 1996. *Fundamentals of Modern Manufacturing : Materials, Processes and Systems*, Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458, USA
- Hollebradanse, J.J.M. 1988. *Teknik Pemrograman dan Aplikasi CNC*, B.V Uitgeverij Nijgh and Rijswijk Van Ditmar, Netherlands.
- Krar, S., Gill, A. 1990. *CNC Teknologi and Programming*, McGraw-Hill Inc., United State America.
- Riyadi, N.G., Pramono, E.S. 1983. *Teori Bengkel*, Akademi Teknik Mesin Industri, Surakarta.
- MAIER, EMCO. 1990. *Instruksi Pemrograman dan Pengoperasian EMCO VMC 200*, EMCO MAIER Ges.m.b.H., P.O. BOX 131 A-5400 Hallein, Austria
- Sato, Sugiarto, H. 1994. *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*, PT Pradnya Pramita, Bandung.
- Stenerson, J., Curran, K. 1987. *CNC, Operation and Programming*, Prentice Hall International Editions, Austria.

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Gambar dan data mesin



Gambar mesin

Data mesin :

Type	: Vertical Milling
Merk	: EMCO VMC – 200
X axis travel	: 420 mm
Y axis travel	: 330 mm
Z axis travel	: 240 mm
Max width clamping	: 170 mm
Ketepatan masukan	: 0.001 mm (0.0001")
Kisar ulir	: 0.1 – 10 mm
Pengaturan asutan	: 0 – 120 %
Pengaturan spindel	: 50 – 120 %
Jenjeng interpolasi	: +/- 9999.999 m
Memori alat potong	: 99 alat potong

Lampiran 2 : G88 – Circular pocket milling cycle

G88 - Circular pocket milling cycle

N4	G88	X U ± 43	Y V ± 43	Z W ± 43	P1 43	P3 P4 ± 43	D2 5	D3 5	D4 1	D5 1	D7 1	F 4
----	-----	-------------	-------------	-------------	-------	---------------	------	------	------	------	------	-----

ADDRESSES	UNIT	DESCRIPTION	Default option: When the parameter is not programmed
X,U Y,V Z,W	[mm]	Coordinates of the pocket centre at the deepest point T_H	
P1	[mm]	Pocket diameter	
P3	[mm]	Definition of the return level: Absolute dimension in Z-direction from the zero point level.	
P4	[mm]	Definition of the return level: Incremental dimension in Z-direction from the starting level.	
D2	[μ m]	Horizontal infeed: D_2 mill diameter ALARM	$D_2 = 1,7 \times$ mill radius
D3	[μ m]	Vertical infeed	dachning takes place with one infeed
D4		Finishing parameters: $D_4 = 0$... Full working feed at the outer radius of the circular pocket $D_4 = 1$... Half working feed at the outer radius of the circular pocket	$D_4 = 0$
D5		Climb/opposed milling: $D_5 = 2$... climb milling $D_5 = 3$... opposed milling	$D_5 = 3$
D7		Vertical feed: $D_7 = 0$... rapid feed $D_7 = 1$... half working speed	$D_7 = 1$
F	[mm/min] [mm/rev.]	Feed	

