

**PENGARUH KOMPENSASI RADIUS
UNTUK GERAKAN MELINGKAR DAN GERAKAN MIRING
PADA MESIN BUBUT CNC EMCO 242**

TUGAS AKHIR :

Nomor Soal : 70 / FT. USD / TM / 2000

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Mesin



Oleh :

ALUYSIUS SINGGIH WIBOWO

NIM : 95 5214 020

NIRM : 950051123109120020

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA
2000**



JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA

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

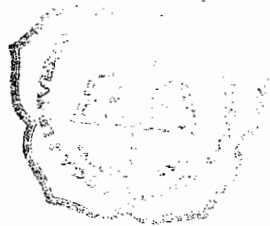
TUGAS AKHIR PROGRAM S-1 JURUSAN TEKNIK MESIN

Nomor : 70 / FT.USD / TM / 2000

Diberikan kepada :
Nama Mahasiswa : Aluysius Singgih Wibowo
Nomor Mahasiswa : 955214020
NIRM : 950051123109120020
Jurusan : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Mata kuliah : Mesin CNC & CAD / CAM
Judul/ naskah soal : Lakukan penelitian tentang pengaruh radius kompensasi untuk gerakan lengkung dan miring pada mesin turning
Tanggal dimulai : 17 Juli 2000

Dosen Pembimbing Kedua

(Yosef Agung Cahvanta, S.T.)



Yogyakarta, 19 Juli 2000
Dosen Pembimbing Utama

(Ir. Subarmono, M.T.)

**PENGARUH KOMPENSASI RADIUS
UNTUK GERAKAN MELINGKAR DAN GERAKAN MIRING
PADA MESIN BUBUT CNC EMCO 242**

Dipersiapkan dan Ditulis Oleh :

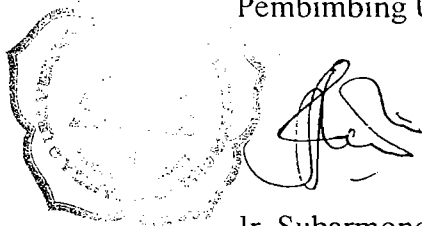
Nama : Aluysius Singgih Wibowo

NIM : 95 5214 020

NIRM : 950051123109120020

Telah disetujui oleh :

Pembimbing Utama



Ir. Subarmono, M.T.

Desember 2000

Pembimbing Kedua



Yosef Agung Cahyanto, S.T.

Desember 2000

PENGARUH KOMPENSASI RADIUS
UNTUK GERAKAN MELINGKAR DAN GERAKAN MIRING
PADA MESIN BUBUT CNC EMCO 242

Dipersiapkan dan ditulis oleh :

Nama : Aluysius Singgih Wibowo

NIM : 95 5214 020

NIRM : 950051123109120020

Telah dipertahankan di depan Panitia Penguji

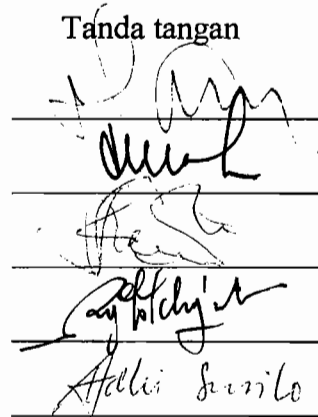
Pada tanggal : 22 Desember 2000

dan dinyatakan memenuhi syarat

Susunan Panitia Penguji :

Nama :
Ketua : Ir. Greg. Harjanto
Sekretaris : Dr. Ir. Victor Malau, DEA
Anggota : Ir. Subarmono, M.T.
Anggota : Yosef Agung C, S.T.
Anggota : Adhi Susilo, S.T. M.Sc.

Tanda tangan

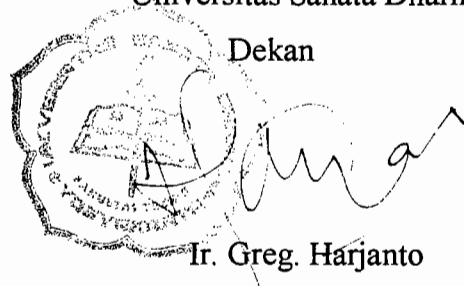


Yogyakarta, 22 Desember 2000

Fakultas Teknik

Universitas Sanata Dharma

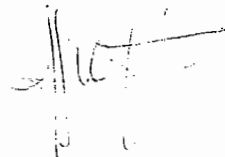
Dekan


Ir. Greg. Harjanto

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya orang lain yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, selain itu sepengetahuan saya tidak ada pendapat maupun karya yang pernah diterbitkan oleh orang lain, kecuali karya itu sebagai referensi untuk penulisan naskah tugas akhir ini.

Yogyakarta, Desember 2000



Aluysius Singgih Wibowo

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada Tuhan dan kepada Nusa dan
Bangsa

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala limpahan rahmat-Nya, sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program pendidikan S1 di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta, yang membahas hasil penelitian tentang salah satu fasilitas pada program pengerjaan benda kerja mesin bubut CNC yang dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Gajah Mada Yogyakarta.

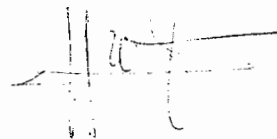
Dengan selesainya penyusunan Tugas Akhir ini tidak lupa penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ir. Greg. Harjanto, sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma
2. Ir. F.A. Rusdi Sambada, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma
3. Ir. Budi Setyahandana , S.T. sebagai Dosen Pembimbing Akademik
4. Ir. Subarmono, M.T selaku Dosen Pembimbing Utama Tugas Akhir
5. Yosef Agung Cahyanto, M.T. sebagai Dosen Pembimbing kedua Tugas Akhir
6. Bapak Basuki sebagai Pendamping Praktek di Laboratorium Mesin UGM
7. Dosen –dosen Teknik Mesin
8. Karyawan Sekretariat Universitas Sanata Dharma

9. Bapak ,Ibu serta Kakak , adik terkasih
10. Narulita yang mampu menumbuhkan dorongan sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai dengan tepat waktu
11. Victor , Joni, Gunawan, Erbito dan teman –teman seperjuangan
12. Semua pihak yang tak mampu untuk disebutkan satu per satu

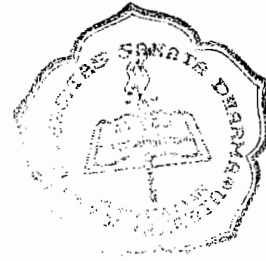
Semoga Tugas Akhir ini dapat berguna bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya teknologi mesin. Dalam penulisan Tugas akhir ini tentunya masih banyak keterbatasan , penulis menyadari hal itu maka kritik serta saran yang sifatnya membangun sangat penulis diharapkan.

Yogyakarta, Desember 2000



Penulis

DAFTAR ISI



HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN SOAL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN UJIAN.....	iv
HALAMAN KEASLIAN KARYA.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang Masalah.....	1
I.2 Tujuan Penelitian.....	3
BAB II. LANDASAN TEORI DAN HIPOTESA.....	4
II.1 Proses Produksi Logam.....	4
II.2 Alat Potong.....	8
II.3 Mesin Bubut CNC EMCO 242.....	12
II.3.1. Kecepatan potong.....	14

II.3.2 Data Posisi Alat Potong.....	15
II.3.3 Fasilitas Kompensasi Radius Alat Poong.....	18
hipotesa.....	27
BAB III METODE PENELITIAN.....	28
III.1. Bahan Penelitian.....	28
III.2 Peralatan	28
III.3. Pelaksanaan penelitian.....	29
III.4. Kesulitan penelitian... ..	34
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	36
IV. 1 Hasil penelitian.....	36
IV.2. Analisa hasil penelitian	38
IV.3 Pembahasan	39
BAB V KESIMPULAN DAN PENUTUP.....	47
V.1 Kesimpulan	47
V.2 Penutup	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kecepatan pemotongan	12
Tabel 2.2. <i>Setting</i> alat potong	25
Tabel 3.1. Data alat potong	34
Tabel 4.1. <i>Target point</i> benda kerja A	36
Tabel 4.2. <i>Target point</i> benda B	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pemotongan logam melalui permesinan	6
Gambar 2.2 Alat potong satu titik	10
Gambar 2.3 Bagian-bagian pada alat potong satu titik	11
Gambar 2.4 Titik nol mesin N	14
Gambar 2.5 Titik referensi mesin R	15
Gambar 2.6 Titik nol benda kerja W	16
Gambar 2.7 Penyimpangan ukuran pada gerakan miring	20
Gambar 2.8 Penyimpangan pada gerak melingkar	20
Gambar 2.9 Ujung alat potong	22
Gambar 2.10 Selisih pemotongan akibat radius alat potong	23
Gambar 2.11 Hidung alat potong standar	24
Gambar 2.12 Kompensasi radius hidung alat potong kiri (G 41)	25
Gambar 2.13 Kompensasi radius hidung alat potong kanan (G 42)	26
Gambar 3.1 Benda kerja penelitian	30
Gambar 4.1 Grafik <i>target point</i> penelitian	38
Gambar 4.2 <i>Target point</i> benda kerja	39
Gambar 4.3 Penyimpangan gerak melingkar	40
Gambar 4.4 <i>Target point</i> 3 dan 4	42

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Masalah

Ilmu pengetahuan dan teknologi merupakan sarana untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia. Manusia dengan pola hidupnya yang selalu ingin maju, tidak pernah berhenti melakukan suatu pengamatan, penelitian dan penemuan-penemuan dari generasi ke generasi, dengan tujuan agar semakin ringan beban hidupnya, salah satu contoh : saat ditemukannya roda air, mesin uap dan motor listrik, penemuan-penemuan itu merupakan momen yang sangat penting bagi sejarah peradaban manusia karena penemuan itu menjadi sarana utama yang menggantikan tenaga manusia sampai saat ini.

Melihat kenyataan bahwa manusia membutuhkan alat-alat bantu untuk meringankan pekerjaannya, maka merupakan hal yang sepatutnya berbagai macam cara dilakukan untuk mengembangkan dan berusaha menemukan bentuk-bentuk teknologi baru, salah satu bidang teknologi yang saat ini berkembang sangat pesat adalah teknologi permesinan, khususnya teknologi yang berkaitan dengan proses produksi massal seperti mesin-mesin perkakas.

Teknologi mesin-mesin perkakas berkembang sangat pesat, hal tersebut dapat diketahui lewat sejarah mesin tersebut. Perkembangan kelihatan mencolok diawali saat John Pearson bersama Institut Teknologi Massachusetts atas nama Angkatan Udara Amerika Serikat pada tahun 1952 menemukan mesin NC

(*Numerical Control*) yang merupakan suatu perkembangan mesin perkakas manual. Mesin ini merupakan suatu bentuk mesin perkakas dengan pengendalian numerik. Bentuk pengendalian numerik tersebut dikembangkan untuk mengatasi pembuatan benda kerja yang rumit dan kompleks.

Penggunaan fasilitas secara lebih kompleks pada pengerjaan CNC mempunyai peranan penting dalam proses produksi masal untuk sekarang ini. Selain benda kerja yang dihasilkan lebih baik dibandingkan proses produksi manual juga perlu diperhatikan persaingan pasarnya. Seiring dengan persaingan pasar yang cukup kompetitif maka sangat mendukung bagi kalangan akademisi melakukan suatu penelitian tentang fasilitas –fasilitas yang dimiliki mesin CNC, salah satu contoh adalah penggunaan fasilitas kompensasi radius hidung alat potong pada mesin tersebut.

Kompensasi radius berarti ralat lintasan alat potong atau program pembetulan lintasan pemotongan. Kompensasi radius sangat berkaitan dengan data alat potong yang menyimpan ukuran radius alat potong. Diketahui bahwa ketepatan ukuran dipengaruhi oleh lintasan titik pemakanan alat potong, sehingga dengan pembetulan lintasan maka ukuran akan menjadi lebih akurat, khususnya pada lintasan miring dan melengkung. Dalam proses pengerjaan benda kerja memakai program tanpa kompensasi radius akan mengalami banyak kesulitan yaitu pada pemakanan melengkung yang tentunya memiliki diameter tertentu, penentuan koordinat lintasan tersebut bagi seorang pemogram akan menjadi masalah tersendiri apalagi dalam pembuatan lengkungan yang terdiri dari dua lingkaran yang berbeda titik pusat dan panjang busur, kesulitan dalam perhitungan

koordinat awal, koordinat tujuan alat potong, atau jarak benda kerja dari alat potong itu dapat diatasi dengan menggunakan fasilitas kompensasi radius, pembuat program dapat mengabaikan radius alat potong selama membuat program (tidak perlu menghitung koordinat sumbu alat potong), sehingga mempermudah pembuatan program.

Keunggulan-keunggulan mesin CNC tersebut akan terbukti apabila memperhatikan pula pengetahuan penggunaan fasilitas-fasilitas mesin CNC dan sistim pengoperasian yang baik dan benar. Walaupun demikian ada kalanya seorang pemrogram melakukan suatu kesalahan, yang bersifat suatu kelalaian misalnya lupa memakai fasilitas kompensasi radius alat potong atau malah kurang memahami pentingnya fasilitas tersebut. Hal ini akan menimbulkan masalah pada ukuran benda kerja yang dihasilkan mesin CNC, khususnya pada bentuk-bentuk melengkung dan miring. Kasus ini akan berakibat fatal apalagi membuat benda kerja yang membutuhkan ketelitian tinggi dan diproduksi dalam jumlah banyak.

1.2 Tujuan Penelitian

Penyimpangan ukuran dalam proses pembuatan benda kerja oleh karena keterbatasan pemahan fasilitas pada mesin CNC, khususnya mengenai pemakaian kompensasi radius alat potong masih sering dijumpai. Untuk itu perlu dilakukan suatu penelitian yang menilai pengaruh penggunaan fasilitas kompensasi radius pada ketelitian mesin CNC, sehingga dari hasil penelitian tersebut dapat menjadi pengetahuan dasar tentang pemrograman CNC yang baik dan benar.

BAB II

LANDASAN TEORI DAN HIPOTESA

II.1. Proses Produksi Logam

Logam yang telah menjadi suatu komponen mesin sebelumnya mengalami proses yang tidak sederhana, pertama dari bijih besi melalui peleburan, pengecoran, pengerjaan panas, pengerjaan dingin, dan proses pembentukan menjadi komponen yang dikehendaki. Uraian diatas adalah contoh proses produksi logam.

Proses produksi merupakan suatu proses pembuatan, pengolahan dan pembentukan menjadi barang yang diinginkan. Memproduksi memerlukan perangkat perkakas dan mesin yang dapat digunakan dengan tepat dan ekonomis. Pemilihan mesin atau proses yang tepat dalam pembuatan suatu produk memerlukan pengetahuan mendasar mengenai segala kemungkinan proses produksi. Meskipun kebanyakan produk dapat dibuat dengan beberapa cara, umumnya terdapat satu cara yang paling ekonomis. Logam dalam proses pengerjaannya dapat diklasifikasikan sbb :

1. Proses untuk mengubah bentuk bahan.
2. Proses untuk memotong material agar sesuai dengan dimensi yang dikehendaki.
3. Proses untuk penyelesaian permukaan.

4. Proses untuk menyambung bagian atau bahan.
5. Proses untuk mengubah sifat fisis.

Proses pengerjaan logam tersebut dapat dipahami dengan jelas melalui uraian dibawah ini :

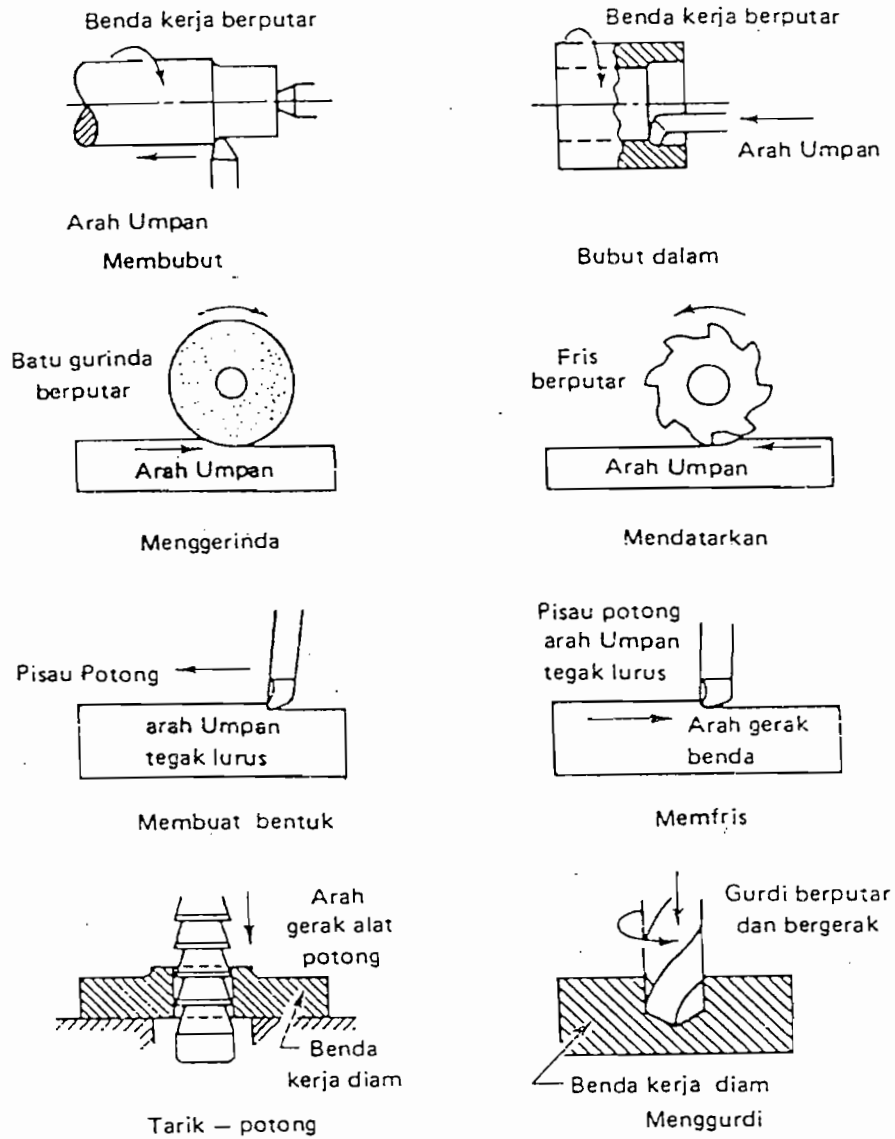
A. Perubahan bentuk

Umumnya bentuk mula logam adalah batangan yang diperoleh dari hasil pengolahan besi, logam cair dituangkan ke dalam cetakan logam menghasilkan ingot dengan ukuran tertentu sehingga akan mudah untuk dibentuk . Adapun proses untuk mengubah bentuk logam adalah sbb:

1. Proses pengecoran
2. Permesinan / pemotongan
3. Pembentukan (metal forming)

B. Proses pemotongan logam

Pemotongan logam adalah mengurangi sebagian logam untuk mendapatkan bentuk yang direncanakan. Dalam proses pemotongan logam ini menghasilkan sisa-sisa potongan yang disebut tatal. Pada pemotongan logam yang membutuhkan benda kerja dengan ketelitian tinggi diperlukan mesin pemotong logam (mesin perkakas). Mesin perkakas digerakan oleh motor untuk memotong benda kerja. Gambar 2.1 menunjukkan aneka ragam proses pemotongan logam melalui permesinan.



Gambar 2.1 Pemotongan logam melalui permesinan

C. Proses penyelesaian permukaan

Penyelesaian permukaan yang dimaksud disini adalah membentuk suatu permukaan benda kerja menjadi licin atau datar, sehingga benda kerja dapat digunakan baik sesuai dengan fungsinya. Pada proses penyelesaian permukaan yang dibuat licin di sini biasanya untuk benda-benda yang dalam fungsinya mengalami gesekan atau ketelitan yang sangat tinggi sehingga untuk mengurangi kerugian-kerugian gesekan maka benda kerja dibuat licin. Proses penyelesaian permukaan ada banyak, diantaranya adalah :

1. Proses gosok amril
2. Pelapisan semprot logam
3. Proses menghilangkan geram

D. Proses penyambungan logam

Penyambungan logam adalah menggabungkan/mengikat dua atau lebih bagian logam sehingga logam-logam tersebut terhubung menjadi satu. Penyambungan logam dikelompokkan menjadi 2 jenis, yaitu : sambungan permanen dan sambungan tidak permanen. Yang dimaksud sambungan permanen logam adalah penyambungan antara dua atau lebih bagian logam menjadi satu dan sambungan ini dapat dilepas hanya dengan cara pengerusakan bagian sambungan, seperti sambungan las, sambungan keling. Sedangkan sambungan tidak permanen adalah sambungan antara dua atau lebih bagian logam menjadi satu, sambungan ini dapat dilepas sewaktu-waktu tanpa pengerusakan bagian logam tersebut, contoh sambungan tidak permanen yaitu sambungan mur dan baut

E. Perubahan sifat fisis

Proses yang dapat mengubah sifat fisis logam adalah

1. Perlakuan panas
2. Pengerjaan dingin
3. Pengerjaan panas

II.2. Alat Potong

Alat potong merupakan suatu alat yang digunakan sebagai pemotong dalam proses pemotongan logam. Dalam praktek proses produksi/praktek penggunaan alat potong saat ini dituntut permintaan yang semakin berat. Sekarang ini telah dikembangkan bahan alat potong yang beraneka ragam. Sifat yang diinginkan dari setiap bahan alat potong adalah :

1. Kemampuan menahan pelunakan terhadap suhu tinggi
2. Koefisien gesek rendah
3. Ketahanan yang tinggi terhadap gerusan
4. Ketahanan tinggi terhadap retakan

Sifat dari setiap bahan alat potong perlu untuk diketahui khususnya bagi seorang teknisi mesin perkakas. Alat potong dengan kemampuan kerja yang baik (umur panjang) sangat cocok digunakan untuk pemotongan dalam proses produksi masal, apalagi dalam kasus pengerjaan benda kerja yang rumit dan kompleks, karena dalam proses produksi masal tersebut akan terlihat jelas pengaruh kualitas pahat, dengan kualitas pahat yang baik akan mengurangi waktu penggantian pahat, menyederhanakan proses kerja, dan yang lebih penting khususnya bagi industri-industri besar adalah lebih ekonomis.

Bahan-bahan untuk alat potong ada beraneka ragam, masing-masing memiliki kelebihan tersendiri. Bahan-bahan alat potong yang sering dipakai dalam proses produksi logam adalah :

a. Baja karbon tinggi

Alat potong dengan bahan baja karbon ini memiliki kandungan unsur karbon antara 0,80 % sampai 1,20% . Alat potong ini memiliki kemampuan baik untuk dikeraskan dengan kemampuan panas yang sesuai, kekerasannya mendekati baja paduan kecepatan tinggi. Baja ini akan berkurang kekerasannya pada suhu diatas 300° C . Bahan ini tidak cocok untuk kecepatan tinggi dan tugas berat. Jenis pahat ini paling sesuai untuk bahan-bahan yang lunak, dan khusus untuk jenis pahat dengan ukuran kecil.

b. Baja kecepatan tinggi

Bahan ini memiliki kemampuan baik untuk dikeraskan dan tetap mempertahankan tepi pemotongannya yang baik sampai suhu 650° C. Jenis baja ini sering disebut baja kekerasan merah karena mampu mempertahankan kekerasannya sampai suhu yang tinggi, sehingga mampu memotong logam – logam yang keras. Adapun campuran pada baja tersebut adalah Wolfram sekitar 18%, dan Khrom kurang-lebih 5,5%.

c. Paduan Cor bukan besi

Pemaduan unsur tambahan serta pembentukan pahat ini dilakukan dengan cara pengecoran dan penggerindaan. Bahan pahat ini memiliki kemampuan terhadap suhu sampai 925° C , tetapi bahan ini lebih rapuh dibandingkan dengan baja kecepatan tinggi (HSS) . Pahat ini memiliki sifat logam diantara baja

kecepatan tinggi dan karbida. Elemen paduan yang terkandung didalamnya adalah Wolfram (12% - 15%), Cobalt (40% -50%), Chrom (15 % -35%).

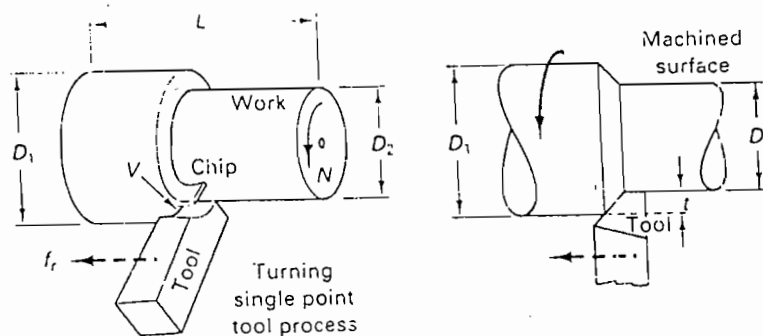
d. Karbida

Mengandung kira-kira 94% Wolfram dan 6% Cobalt. Paling cocok untuk mengerjakan benda kerja dari besi cor dan semua bahan lain kecuali baja. Baja tidak cocok pada pahat ini, karena serpihan tatal akan melekat pada permukaan karbida. Jenis bahan ini mampu pada suhu 1250°C .

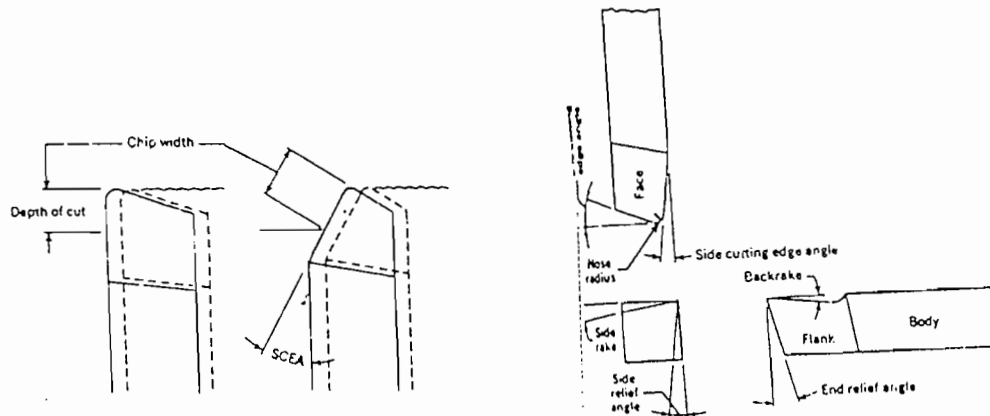
e. Pahat keramik

Pahat keramik memiliki titik pelunakan pada suhu diatas 1100°C dan mempunyai konduktivitas panas yang rendah sehingga pahat ini mampu beroperasi pada kecepatan tinggi dan mampu mengambil pemotongan yang dalam.

Bentuk alat potong sebagian besar tergantung pada sifat-sifat bahan alat potong dan benda kerja. Untuk alat potong *single point* secara geometris dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Alat potong satu titik



Gambar 2.5 Bagian-bagian pada alat potong satu titik

Untuk Baja kecepatan tinggi dalam keadaan normal *back rake angles* yang dipilih berharga positif, besarnya tergantung tipe pemotongan (*turning, planing, milling, drilling*) dan bahan benda kerja. Sudut relief normal untuk baja kecepatan tinggi sebesar $5-10^{\circ}$ sebagai catatan harga sudut relief semakin kecil untuk bahan benda kerja yang lebih keras. Perlu juga diperhatikan pada pemilihan kecepatan potongnya, karena pemilihan kecepatan potong dan besarnya sudut rake akan mempengaruhi ketahanan alat potong didalam pemakaian yang lebih dikenal sebagai umur alat potong. Sudut rake atau sudut pemakanan (*sudut garuk*) yang dimiliki pada masing-masing pahat dan bahan pahat itu sendiri mempengaruhi besar kecepatan pemotongan, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Kecepatan pemotongan benda kerja *

Work Material	Tool	Rake Angles (deg)		Cutting Speed	
		Back	Side	m/min	ft/min
B112 steel	HSS	16	22	69	225
	WC	0	3	168	550
	Ceramic	-5	-5	427	1400
4140 steel	HSS	12	14	40	130
	WC	0	3	91	300
	Ceramic	-5	-5	274	900
S620 steel	HSS		Uncoated		100
	WC		Uncoated		400
	WC		Coated with TiC		600
	WC		Coated with Al ₂ O ₃		1100
	WC, Al ₂ O ₃ , with LFG				1300
18-8 steel (stainless)	HSS	8	14	27	90
	WC	4	8	84	275
	Ceramic	-5	-5	152	500
Gray cast iron (medium)	HSS	5	12	34	100
	WC	0-4	2-4	69	225
	Ceramic	-5	-5	244	800
Brass (free machining)	HSS	0	0	76	250
	WC	0	4	221	725
Aluminum alloys	HSS	35	15	91	300+
	WC	10-20	10-20	122	400+
Magnesium alloys	HSS	0	10	91	300+
	WC	10	10	213	700+
Titanium (turning)	WC	0	5	46	150

* Table values typical for
 face turning operation,
 single-point tool, feed: 0.38 mm/rev (0.025 in/rev), depth: 3.18 mm (0.125 in.)

11.3 Mesin Bubut CNC EMCO 242

Mesin bubut CNC merupakan pengembangan mesin bubut manual. Kedua jenis mesin tersebut pada dasarnya sama, yaitu : untuk membuat bentuk-bentuk silinder dengan sumbu utama berputar untuk memutar benda kerja sedangkan gerakan pemakanan dilakukan oleh alat potong (pahat, matabor). Yang membedakan adalah sistem pengendaliannya. Pada mesin bubut manual ,

* De Garmo, Paul, E., *Material and Processes in Manufacturing*, 1988, New York, hal 632

dikendalikan oleh seorang operator secara langsung, sedangkan untuk mesin bubut CNC dikendalikan melalui data numerik yang dibuat oleh pemrogram yang disimpan pada komputer, kemudian data numerik tersebut diproses oleh mikroprosesor pada komputer menjadi bahasa mesin, yang selanjutnya menjadi instruksi-instruksi untuk mengatur gerakan pada mesin tersebut.

Dalam pengendalian mesin bubut, khususnya mesin bubut CNC banyak aturan-aturan/ketentuan-ketentuan teknik sebagai standarisasi pengoperasian, seperti ketentuan kecepatan potong, dalamnya asutan. Standarisasi pengoperasian tersebut mengacu pada kekuatan alat potong, kekerasan bahan benda kerja, dan kekuatan mekanik komponen – komponen mesin. Hal itu menjadi ketentuan yang bertujuan untuk mengoptimalkan hasil kerja pembubutan, sehingga akan dihasilkan benda kerja sesuai dengan perancangan dan menekan kerugian-kerugian, baik kerugian yang bersifat mekanis maupun biaya dan tenaga.

Pada penelitian ini, diambil beberapa data teknologis dari mesin bubut CNC yang akan menjadi landasan teori. Data-data teknologis mesin bubut CNC tersebut adalah :

1. Kecepatan potong
2. Data posisi alat potong
3. Kompensasi radius alat potong

II. 3. 1 Kecepatan potong

Kecepatan pemotongan (V_s) maksimal yang diijinkan tergantung pada :

1. Bahan benda kerja

Semakin tinggi kekuatan bahan benda kerja, maka semakin rendah kecepatan potongnya.

2. Bahan pahat

Pahat karbida dan pahat keramik memungkinkan kecepatan potong yang lebih tinggi dibanding pahat HSS (*High Speed Steel*).

3. Besar asutan

Makin besar asutan, makin kecil kecepatan potong.

4. Dalamnya pemotongan

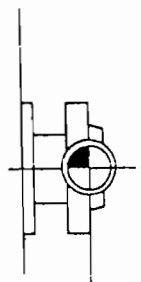
Semakin besar dalamnya pemotongan, makin kecil kecepatan potongnya.

II. 3.2. Data Posisi Alat Potong

Pada pembubutan CNC digunakan beberapa titik referensi, titik-titik referensi mesin CNC tersebut adalah :

A. Titik nol mesin M

Titik nol mesin adalah sistem koordinat aslinya. Pada mesin bubut terletak pada permukaan flens sumbu utama dari sumbu putarnya dan titik ini dapat diubah oleh pemakainya. Titik ini memiliki koordinat $X=0, Z=0$.



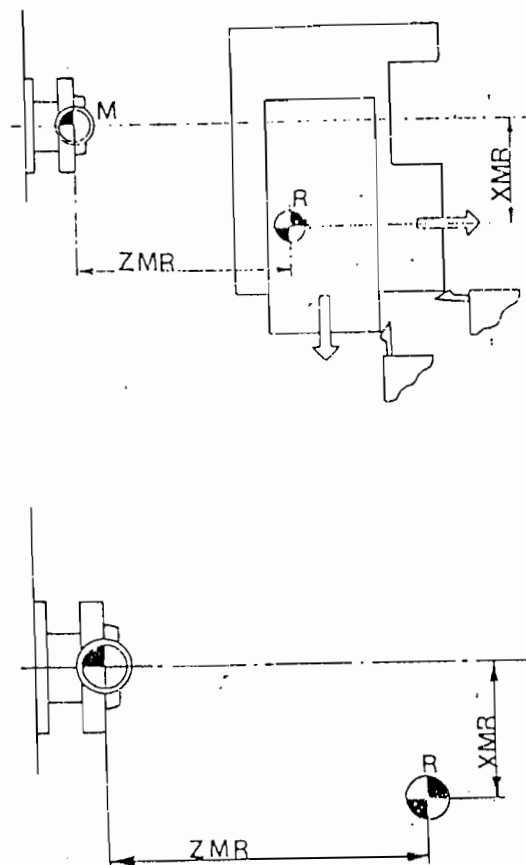
Gambar 2.3 Titik nol mesin

B. Titik referensi mesin pemegang alat potong N

N terletak pada sumbu lubang bor pada permukaan sisi pemegang pahat. Dari titik ini pahat dapat diukur. Jika tidak ada pahat yang diaktifkan dan titik nol mesin tidak digeser, dengan titik referensi telah dicapai, layar menunjukkan ukuran ZMW dan diameter XMN.

C. Titik referensi mesin R

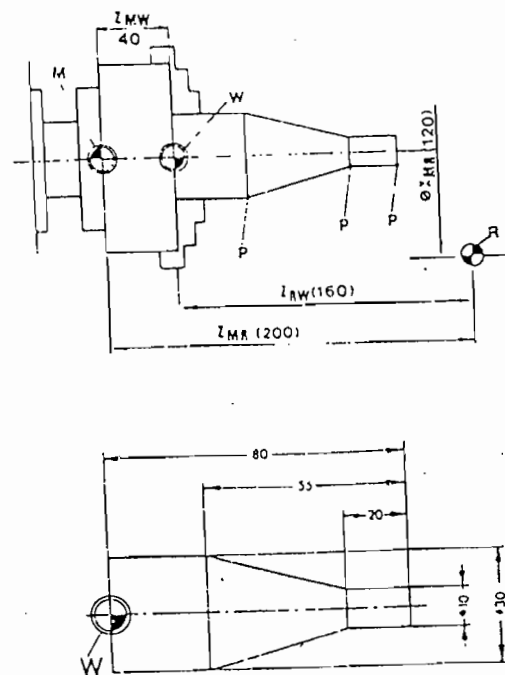
Titik referensi mesin berlaku sebagai penara pengukuran. Posisi titik referensi R ditetapkan oleh pabrik pembuat dengan nok-nok. Ukuran XMR dan ZMR tetap didalam komputer dan tidak dapat diubah oleh pemogram.



Gambar. 2.5 Titik referensi mesin R

D. Titik nol benda kerja

Sistem koordinat pada titik ini dapat digeser dari titik nol mesin ke titik yang dikehendaki. Titik nol benda kerja ditentukan oleh pemogram. Ukuran penggeseran ZMW dimasukkan ke pencatat penggeseran posisi.



Gambar 2.6 Titik nol benda kerja W

E. Data posisi alat potong

Data posisi pahat atau alat potong X, Z diukur dari titik N. Anggaphlah sistem koordinatnya berada pada titik N. Panjang pahat diukur dari titik N. Ukuran ini ditulis ke dalam pencatat data pahat.

Data alat potong X, Z diukur dari titik referensi N. Harga Z menurut arah horisontal dengan sebelah kanan N bernilai positif dan sebelah kiri N bernilai negatif. Harga X menurut arah vertikal dengan sebelah atas titik N bernilai positif dan sebelah bawah titik N bernilai negatif.

Radius puncak mata alat potong R dan posisi puncak alat potong L juga harus didaftarkan dalam daftar TO (*file* alat potong). Ada beberapa cara untuk mendapatkan data alat potong, yang pertama menyentuhkan puncak mata alat potong ke permukaan (diameter benda diketahui) ke ujung muka benda kerja.

Cara kedua dengan menggunakan peralatan penyetel optik. Data alat potong diukur dengan menggunakan peralatan optik. Dalam penggunaan alat optik ini kedudukan lensa harus tepat dan kefokusannya diatur dengan benar agar puncak mata alat potong dapat dilihat dengan jelas. Untuk menyetel kefokusannya yang benar maka jarak fokus alat penyetel diatur kurang lebih 170 mm (6.698"). Kemudian datanya diambil sebagai data posisi alat potong. Data ini untuk mengoreksi alat potong yang dipilih dengan nomor koreksi yang identik. Misal T01 mempunyai nomor koreksi 01.

Cara ketiga dengan memasukan langsung ke memori data alat potong. Memasukkan nomor daftar data alat potong yang akan diubah (misal nomor 3) maka tekan 3 *ENTER*. Data yang akan diubah dengan tombol C.W atau C.E nilai yang ada akan dihapus. Masukkan nilai yang benar dan simpan dengan menekan *ENTER*. Setelah disimpan dalam memori data alat potong untuk keluar dapat ditekan tombol *RESET* atau *EDIT*.

Cara keempat dengan pemuatan data koreksi alat potong tersusun dari kaset ke memori mesin. Dengan cara ini dapat memilih data koreksi alat potong tersusun. Misal tekan tombol TO 2 5 *ENTER* dengan cara ini data koreksi alat potong tersusun dipanggil dan dimuat ke dalam memori mesin, setelah tombol *MASUKAN* ditekan.

Dari beberapa cara tersebut jika data sudah tersimpan dan alat potong dipanggil dengan nomor koreksi alat potong maka pengendali memperoleh data X, Z, R dan L yang telah dimasukkan ke dalam memori sesuai dengan kode nomor koreksinya.

Koreksi alat potong dari alat potong yang aktif harus dibatalkan sebelum gerakan kembali ketitik pengganti alat potong. Gerakan jalannya alat potong menjadi lebih pendek, karena titik N (titik referensi pemegang alat potong) dicapai dan bukan ujung potong dari alat potong dengan koreksi alat potong aktif. Dalam hal ini dapat untuk mencegah gerakan jalannya maksimal terlampaui. *Revolver* pahat harus diindeksikan dengan mode MANUAL untuk mencegah tabrakan.

Jika tidak ada alat potong yang aktif maka harga koordinat dari titik N (titik referensi pemegang alat potong) dihitung. *Revolver* digerakkan dengan koreksi alat potong masih aktif maka ujung potong dari alat potong bergerak ke titik P terprogram. *Revolver* digerakkan ke titik penggantian alat potong dengan koreksi alat potong aktif maka titik S dicapai oleh ujung potong pahat. Agar gerakan *revolver* lebih pendek, maka koreksi alat potong dibatalkan sebelum pencapaian ke titik penggantian alat potong. *Revolver* digerakkan ke titik penggantian alat potong dengan koreksi alat potong dibatalkan sehingga titik S dicapai oleh titik N.

II.3.3 Kompensasi radius hidung alat potong

Kompensasi radius adalah kompensasi yang diberikan pada data posisi alat potong suatu program pengerjaan benda kerja pada mesin CNC, dengan

tujuan untuk pembetulan jalannya pemakanan agar benda kerja yang dihasilkan sesuai dengan ukuran yang sudah direncanakan.

Sebenarnya bentuk ujung alat potong tidak runcing melainkan berupa lengkungan yang memiliki radius tertentu. Pembentukan tersebut berhubungan dengan alasan teknologis. Dengan bentuk lengkung tersebut maka kontur (jalannya pemakanan pada alat potong) yang dihasilkan tidak akan mengikuti ujung potong teoritis (ujung yang merupakan perpotongan 2 garis sisi alat potong) tetapi akan menyesuaikan pada bentuk permukaan lengkung hidung alat potong. Perhitungan radius hidung alat potong ini, dalam pemrograman CNC sebagai program untuk penyamaan ukuran sesuai dengan data pada program. Radius ini harus diperhatikan meskipun relatif kecil karena seandainya hal ini tidak diperhatikan akan berakibat fatal pada benda kerja yang dihasilkan, khususnya pada pembuatan benda kerja yang memiliki lintasan pengerjaan miring dan melengkung dari garis sumbu utama mesin. Kesalahan (penyimpangan ukuran) akan berharga maksimal, ketika pengerjaan benda kerja membentuk sudut 45° dari garis sumbu utama mesin. Penyimpangan itu dapat dihitung jika mengetahui radius hidung alat potong (r), sebagai contoh besar radius hidung yang alat potong yang akan digunakan dalam pengerjaan CNC adalah 0,8 mm dan pemotongan membentuk kemiringan 45° dari sumbu utama, maka penyimpangannya sbb:

$$E = r (1,414 \text{ Cos } (45^{\circ} - \alpha) - 1)$$

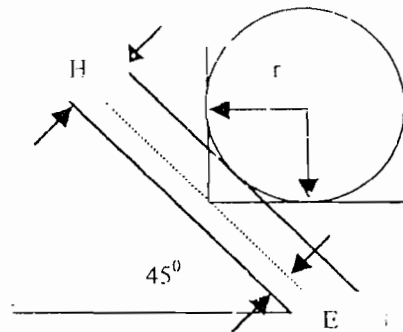
$$E = 0,8 (1,414 - 0,8) = 0,33 \text{ mm}$$

Atau dengan rumus lain, sbb :

$$E = H - r = (r / \sin 45^\circ) - r$$

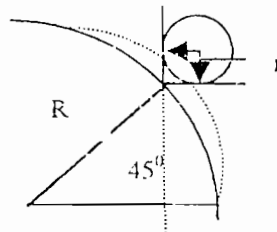
$$E = (0,8/0,707) - 0,8 = 0,33 \text{ mm}$$

Perhitungan itu berdasarkan gambar 2.7



Gambar 2.7 Penyimpangan ukuran pada gerak miring 45°

Penyimpangan untuk gerak melingkar pun dapat diketahui besarnya, seperti ditunjukkan oleh gambar 2.8



Gambar 2.8 Penyimpangan pada gerak melingkar

Penyimpang

$$E = [(Z_1 + (r - r \cos \alpha))^2 + (X_1 + (r - r \sin \alpha))^2]^{1/2} - [Z_1^2 + X_1^2]^{1/2}$$

atau dengan rumus :

$$E = [(Z_1 + (r - r \cos \alpha))^2 + (X_1 + (r - r \sin \alpha))^2]^{1/2} - [R^2]^{1/2}$$

Dengan :

$$Z_1 = R \cos \alpha$$

$$X_1 = R \sin \alpha$$

R = Jari-jari lintasan alat potong dengan kompensasi (lintasan yang benar)

α = sudut titik pemakanan dari pusat lingkaran lintasan

r = Jari-jari alat potong

Misalkan, harga R = 10 mm, r = 0,8 mm, $\alpha = 45^\circ$, maka besarnya penyimpangan itu sebesar :

$$E = [(10 \cos 45^\circ + (0,8 - 0,8 \cos 45^\circ)^2 + \dots \\ + (10 \sin 45^\circ + (0,8 - 0,8 \sin 45^\circ)^2)^{1/2} - (10)]$$

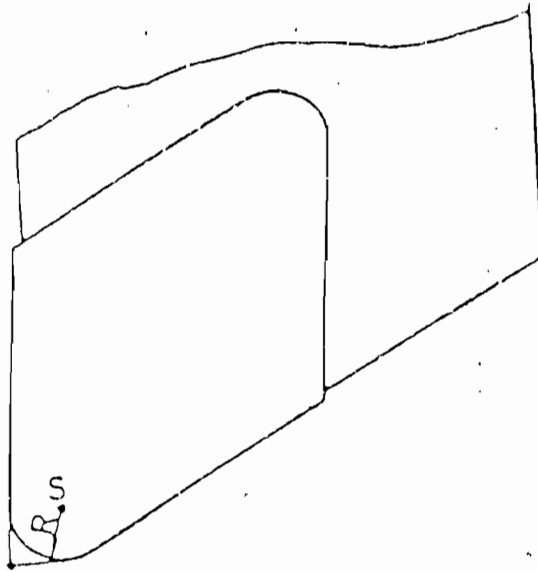
$$E = [(7,07 + 0,23)^2 + (7,07 + 0,23)^2]^{1/2} - 10$$

$$E = [106,6111824]^{1/2} - 10$$

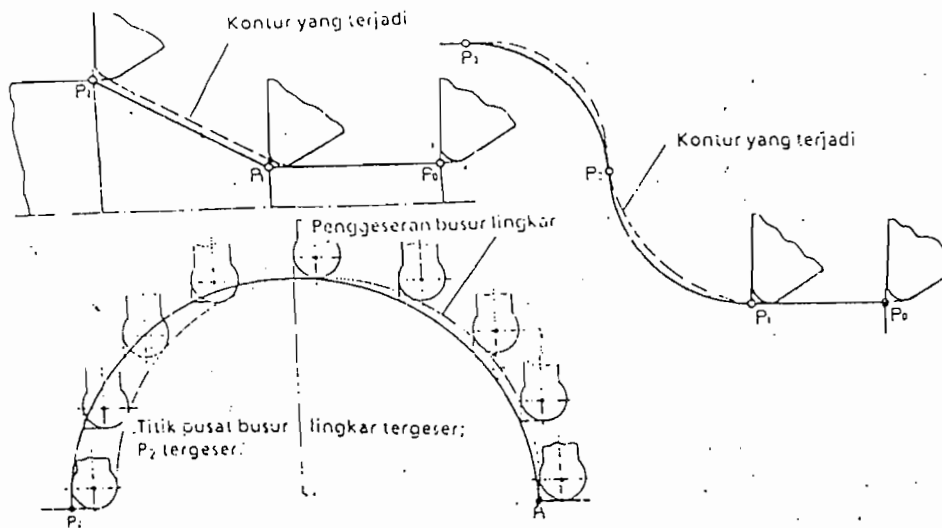
$$E = 10,33 - 10 = 0,33 \text{ mm}$$

Untuk mengurangi kesalahan kita harus memperhitungkan radius kompensasi, tetapi akan mengalami kesulitan jika harus selalu memperhitungkan radius hidung alat potong tersebut, oleh karena itu untuk mengatasi permasalahan tersebut mesin CNC memiliki program pembacaan program dengan menghitung radius alat potong secara otomatis dengan harga r sesuai pada data alat potong saat *setting* yaitu dengan program kompensasi radius (G42/ G41/ G40).

Perbedaan bentuk ujung alat potong teoritis dan ujung potong sebenarnya terlihat jelas pada gambar 2.9



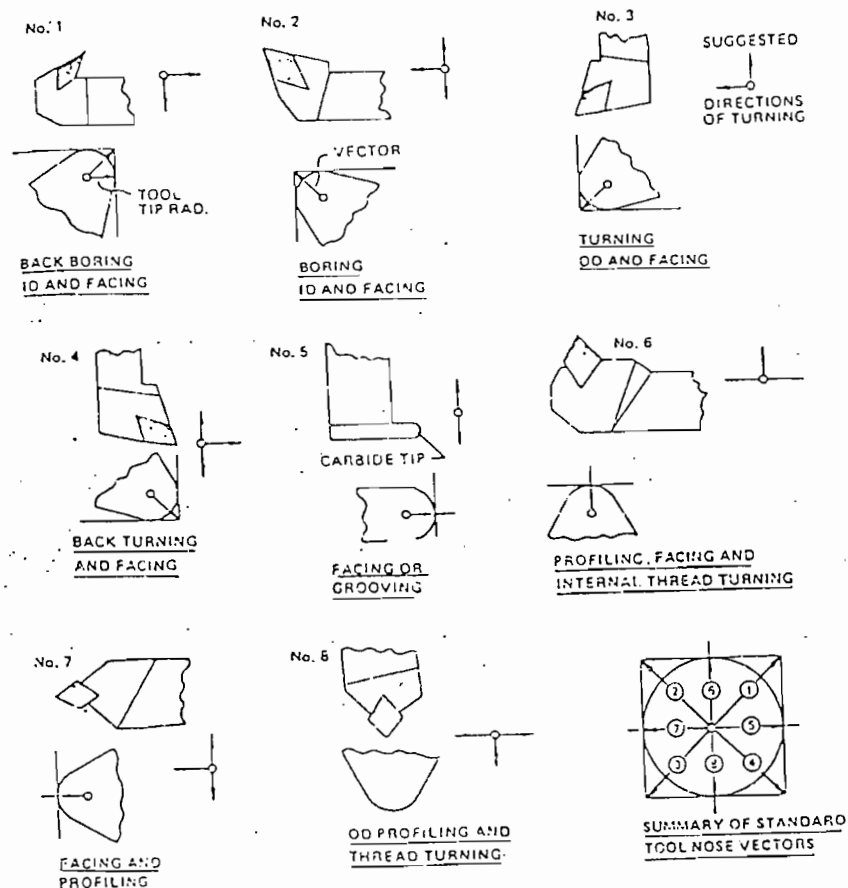
Gambar 2.9 Ujung alat potong



Gambar 210 Selisih pemotongan akibat radius alat potong

Pada dasarnya, radius hidung alat pusat potong tidak berbeda dengan radius potong alat potong. Hanya radius hidung alat pusat potong ini jauh lebih kecil dan tidak berputar. Radius hidung alat pusat potong ini dapat diketahui oleh anak panah dari pusat ke perpotongan dari 2 garis potong alat tersebut. Besarnya radius hidung alat pusat potong akan sama dengan radius hidung alat potong ketika mode kompensasi radius diaktifkan dan akan bertambah panjang ke persimpangan 2 garis alat potong saat kompensasi radius dibatalkan. Pada pemotongan, besarnya jentang kisaran pemakanan dihitung dari titik nol, yakni dari pusat potong ke tepi permukaan lengkung.

Hidung alat potong standar terlihat dari belakang selama berputar. Pada umumnya mesin bubut CNC menyediakan 8 tipe yang berbeda dari geometri alat potong, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11



Gambar 2.11 Hidung alat potong standar

Pemogram harus tahu alat potong yang sesuai dengan setiap bentuk-bentuk pengerjaan benda kerja. Selain itu juga pemogram harus dapat menyeleksi nomor hidung alat standar bersama dengan angka kode yang bersangkutan. Radius hidung alat potong dan nomor hidung alat potong standar harus diinputkan ke dalam pencatat data alat potong, yang harus mengacu pada bentuk pelaksanaan program.



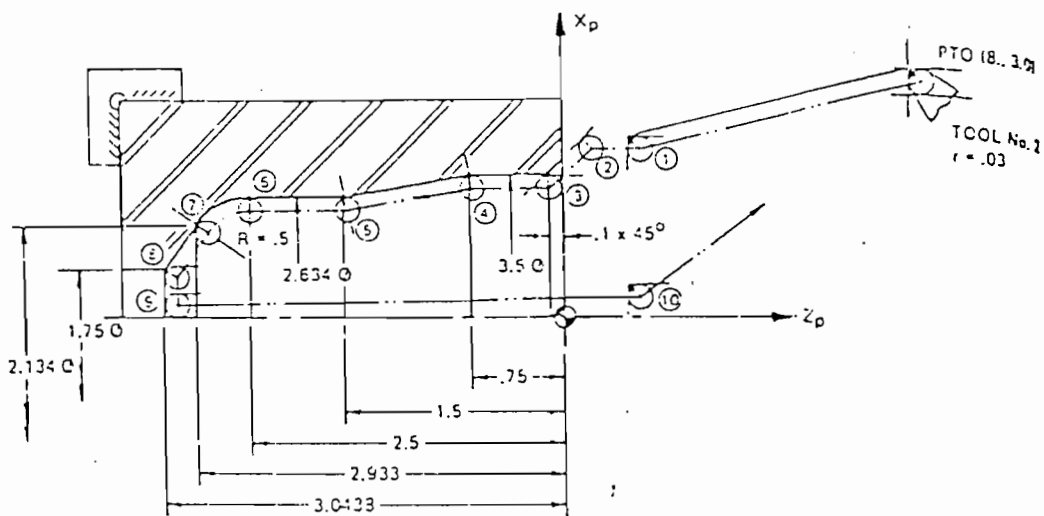
Pusat putaran biasanya memiliki 16 atau 32 daftar cabang alat yang bisa diprogram. Hal ini dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 *Setting* alat potong

TOOL OFFSET SHEET				
Offset register number	Compensations		Tool nose radius R	Standard tool number
	X	Z		
12	-0.006	0.009	0.031	4

Dua angka pertama mengikuti kode T (tool) yang menunjukkan posisi gagang alat potong.

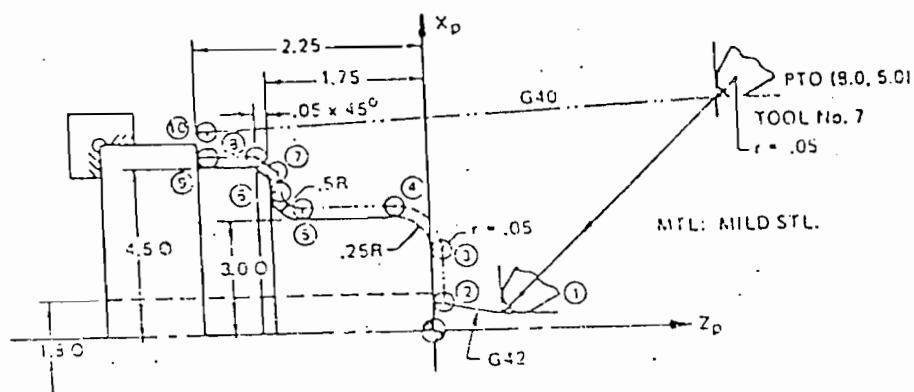
Kompensasi radius hidung alat potong kiri G41 ketika diprogram akan mengarah ke posisi seperti ditunjukkan pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Kompensasi radius alat potong kiri G41

Kondisi kompensasi ini dijalankan dengan unit kontrol sampai kode pembatalan kompensasi radius G40 diprogram. G41 biasanya dipakai untuk pemakanan dalam.

Kompensasi radius hidung alat potong kanan G42 ketika diprogram akan mengarah ke posisi seperti pada gambar 2.13



Gambar 2.13 Kompensasi radius alat potong kanan G42

Tepi alat potong bergerak ke kanan dan arah paralel alat potong ke permukaan putar yaitu ke kanan vektor yang tegak lurus ke permukaan mesin. Kompensasi radius kanan ini biasa dipakai untuk pembubutan dibagian luar. Untuk pembatalan digunakan program G40.

II.4. Hipotesa

Dari dasar teori yang ada maka penulis mempunyai dugaan awal bahwa tidak digunakannya fasilitas kompensasi radius hidung alat potong pada mesin bubut CNC menjadi salah satu penyebab penyimpangan ukuran benda kerja yang dihasilkan.

BAB III

METODE PENELITIAN

III.1. Bahan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan dua benda kerja untuk dua program pengerjaan, benda kerja tersebut berbentuk silinder dengan diameter 40 mm dan panjang 120 mm. Bahan benda kerja adalah aluminium murni.

III.2. Peralatan

a. Mesin CNC EMCO TURN 242

Mesin bubut ini merupakan jenis mesin bubut kelas menengah yang mampu untuk melakukan pemotongan /pengerjaan terhadap beberapa jenis bahan benda kerja (Aluminium, Besi, maupun baja). Daya motornya lebih besar dibandingkan dengan jenis TU – 2A . Fasilitas pada mesin ini hampir sama dengan mesin-mesin CNC pada industri-industri pada umumnya.

b. CTS (*Computer Training Simulation*)

CTS sangat penting sebagai sarana pengujian program CNC , karena dengan proses pengujian melalui komputer ini dapat diketahui bentuk kesalahan pembuatan program CNC, sehingga dapat mengantisipasi gerakan-gerakan pembubutan yang tidak diinginkan.

c. Pahat

Pahat/ alat potong yang digunakan sebanyak 3 buah yaitu pahat kanan, pahat kiri, dan pahat netral.

d. Optik Periyetel Pahat

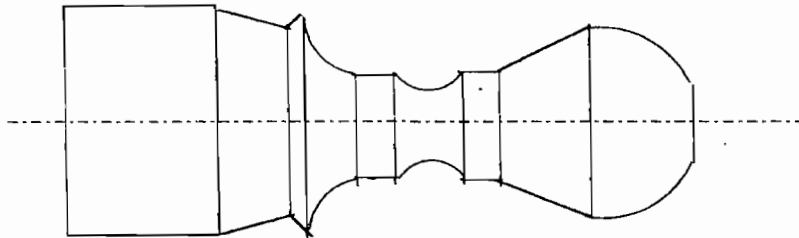
Alat ini berfungsi untuk menyitel posisi pahat pada *revolver* pahat dengan titik referensi pahat.

e. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan untuk alat pengukuran benda kerja yang dihasilkan.

III.3. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini secara umum dibagi dalam dua tahapan. Tahap pertama merupakan tahap pra permesinan yaitu penyiapan landasan penelitian berupa pendalaman dasar-dasar teori dan pembuatan program benda kerja, tahap kedua pengujian program benda kerja melalui *Computer Training Simultan (CTS)* dan pengerjaannya. Dalam pelaksanaannya, dilakukan dengan membuat 2 benda kerja yang memiliki bentuk sama, tetapi program pengerjaannya berbeda. Benda pertama (benda A) dengan program CNC memakai fasilitas kompensasi radius hidung pahat sedangkan benda kedua (benda B) melalui program tanpa kompensasi radius hidung pahat. Dalam proses permesinanya pengerjaan benda kerja dibagi dalam beberapa langkah pengerjaan, pengerjaan pertama adalah tahap pemotongan kasar (pembuatan bentuk kasar) dan langkah kedua merupakan tahap penyelesaian akhir (*finishing*), setelah *finishing* maka bentuk benda kerja dan ukurannya dapat kelihatan jelas, seperti pada gambar 3. 1



Gambar 3.1 Benda Kerja penelitian

Program pengerjaan benda kerja A, tanpa fasilitas kompensasi radius melalui banyak tahap dan penggunaan beberapa fasilitas mesin CNC. Dari fasilitas pergeseran referensi, fasilitas-fasilitas praktis program pemotongan, pergantian alat potong, fasilitas pembuatan bentuk tirus, serta fasilitas pembuatan bentuk lengkung/melingkar. Adapun penjelasan program pengerjaan benda kerja, sbb:

Penjelasan program benda kerja A(tanpa kompensasi radius) :

Blok 0000 – 0020 : Pergeseran titik referensi (Kode : G55, G92, G59)

Blok 0030 : Pemilihan alat potong , pemilihan arah putaran sumbu utama, jumlah putaran , besar asutan
(Kode : T, M03/M04,S,F)

Blok 0040 – 0370 : Pemotongan untuk mendapatkan bentuk kasar
(G 01,G84)

- Blok 0580 – 0600 : Pembuatan lingkaran kepala (G03)
- Blok 0610 – 0620 : Pergeseran pahat dengan cepat tanpa pemotongan (G00)
- Blok 0630 : Pergantian alat potong dan putaran sumbu utama
(T, M03/ M0)
- Blok 0640 – 0680 : Pembuatan tirus (G84)
- Blok 0690 : Pergeseran posisi pahat secara cepat tanpa pemakanan
(G00)
- Blok 0700 : Pergantian pahat, pemilihan putaran sumbu utama
(T, M03/ M04)
- Blok 0710 – 0760 : Pembentukan leher benda kerja (G01)
- Blok 0770 – 0850 : Pemotongan kasar lingkaran dalam (G01)
- Blok 0860 – 0930 : Pembuatan lingkaran dalam (G02)
- Blok 0940 : Pergeseran pahat secara cepat tanpa pemakanan (G00)
- Blok 0950 : Pergantian pahat, putaran sumbu utama (T, M03/ M04)
- Blok 0960 – 1000 : *Finishing* tirus (G01)
- Blok 1010 : Pergeseran posisi (G00)
- Blok 1020 : Pergantian pahat, pemilihan jenis putaran sumbu utama
(T, M03/ M04)
- Blok 1030 – 1090 : *Finishing* lingkaran leher dan lingkaran dalam (G02)
- Blok 1100 : Pergeseran alat potong secara cepat tanpa pemotongan
(G00)
- Blok 1110 : Pergantian pahat, pemilihan jenis putaran sumbu utama
(T, M03/M04)

Blok 1120 – 1190 : *Finishing* tirus lancip (G01)

Blok 1200 : Pergeseran posisi pahat dengan cepat tanpa pemakanan
(G00)

Blok 1210 –1220 : Program terahir (T000, G53, G56, M05, M09, M30)

Penjelasan program CNC benda kerja B (kompensasi radius) :

Blok 0000 – 0020 : Pergeseran titik referensi (Kode : G55, G92, G59)

Blok 0030 : Pemilihan alat potong , pemilihan arah putaran sumbu
utama, jumlah putaran , besar asutan
(Kode : T, M03/M04,S,F)

Blok 0040 – 0370 : Pemotongan untuk mendapatkan bentuk kasar
(G 01,G84)

Blok 0580 – 0600 : Pembuatan lingkaran kepala, kom. radius (G03, G42, G40)

Blok 0610 – 0620 : Pergeseran pahat dengan cepat tanpa pemotongan (G00)

Blok 0630 : Pergantian alat potong dan putaran sumbu utama
(T, M03/ M0)

Blok 0640 – 0680 : Pembuatan tirus (G84)

Blok 0690 : Pergeseran posisi pahat secara cepat tanpa pemakanan
(G00)

Blok 0700 : Pergantian pahat, pemilihan putaran sumbu utama
(T, M03/ M04)

Blok 0710 – 0760 : Pembentukan leher benda kerja (G01)

Blok 0770 – 0850 : Pemotongan kasar lingkaran dalam (G01)

- Blok 0860 – 0930 : Pembuatan lingkaran dalam (G02)
- Blok 0940 : Pergeseran pahat secara cepat tanpa pemakanan (G00)
- Blok 0950 : Pergantian pahat, putaran sumbu utama (T, M03/ M04)
- Blok 0960 – 1000 : *Finishing* tirus, kompensasi radius & pembatalannya
(G01, G42, G40)
- Blok 1010 : Pergeseran posisi (G00)
- Blok 1020 : Pergantian pahat, pemilihan jenis putaran sumbu utama
(T, M03/ M04)
- Blok 1030 – 1090 : *Finishing* lingkaran leher dan lingkaran dalam,
kompensasi radius dan pembatalannya (G02, G42, G40)
- Blok 1100 : Pergeseran alat potong secara cepat tanpa pemotongan
(G00)
- Blok 1110 : Pergantian pahat, pemilihan jenis putaran sumbu utama
(T, M03/M04)
- Blok 1120 – 1190 : *Finishing* tirus lancip, kompensasi radius &
pembatalannya (G01, G42, G40)
- Blok 1200 : Pergeseran posisi pahat dengan cepat tanpa pemakanan
(G00)
- Blok 1210 – 1220 : Program terahir (T000, G53, G56, M05, M09, M30)

Langkah selanjutnya adalah *setting* alat potong yang dilakukan pada mesin CNC EMCO 242, yang dimaksud *setting* alat potong adalah pengukuran posisi masing-masing pahat yang akan dipakai, terhadap sumbu X dan Z dengan pusat

persumbuan adalah referensi pahat, serta pencatatan harga radius pahat dan kode pahat yang akan dipakai melalui komputer. Setelah *setting* alat potong selesai, dilakukan pengujian data posisi alat potong melalui pemotongan dengan ukuran yang telah diprogram, lalu dilakukan pengukuran benda hasil pengujian, ada penyimpangan atau tidak, seandainya ada selisih penyimpangan, kemudian data posisi alat potong pada komputer dirubah.

Tabel 3.1 Data alat potong

N0.	X	Z	R	L
01.	-53,91	46,86	0,8	L3
02.	-56,52	-17,05	0,8	L8
03.	-55,29	-31,89	0,8	L4

Setelah langkah *setting* alat potong selesai, dilanjutkan dengan pemasangan benda kerja pada mesin CNC tersebut dan pelaksanaan pengerjaan. Pemasangan benda kerja yang baik adalah apabila saat mesin dihidupkan dan sumbu utama berputar benda kerja tidak mengalami putaran yang labil.

III.4. Kesulitan Penelitian

Peneliti mengalami beberapa kesulitan dalam tahap-tahap pengerjaan benda kerja :

- a. Pembuatan dan pengujian program

1. Peletakan program kompensasi radius

Dalam pengujian program terjadi hambatan karena kurang tepat peletakan program kompensasi radius (G 42/ G 41/ G 40).

2. Variasi bentuk lintasan

Banyaknya bentuk-bentuk melingkar dan miring dengan ukuran yang beraneka ragam, peneliti mengalami kesulitan penentuan titik koordinat lintasan alat potong pada pemakanan kasar dan penetapan jenis pahatnya.

b. Pengukuran benda kerja

Kesulitan mendapatkan ukuran yang akurat dan teliti khususnya pada bentuk melingkar dan miring dengan ukuran yang kecil.

c. Penyetelan posisi pahat

Kemampuan penglihatan peneliti dapat membatasi penentuan posisi pahat pada titik referensi pahat.

d. Pemasangan benda kerja

Untuk mendapatkan hasil yang pengerjaan yang sempurna perlu pula memperhatikan kestabilan putaran benda kerja.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

IV. Hasil Penelitian

Dalam penelitian ini hanya menampilkan 2 program pengerjaan CNC. Program pengerjaan dengan kompensasi radius hidung alat potong dan program pengerjaan tanpa kompensasi radius hidung alat potong. Dari 2 program ini dihasilkan 2 buah benda kerja, yang kemudian dilakukan pengukuran untuk dapat membandingkan kedua benda kerja tersebut dan memberi penilaian atas pengaruh kompensasi radius hidung alat potong. Adapun hasil pengukuran adalah sbb :

Tabel 4.1 *Target point* benda A (tanpa kompensasi radius)

Titik (target point)	X/2	Z
1.	7,70	00,00
2.	12,22	-10,00
3.	12,32	-12,50
4.	7,25	-19,50
5.	7,25	-23,00
6.	6,23	-26,00
7.	7,25	-29,00

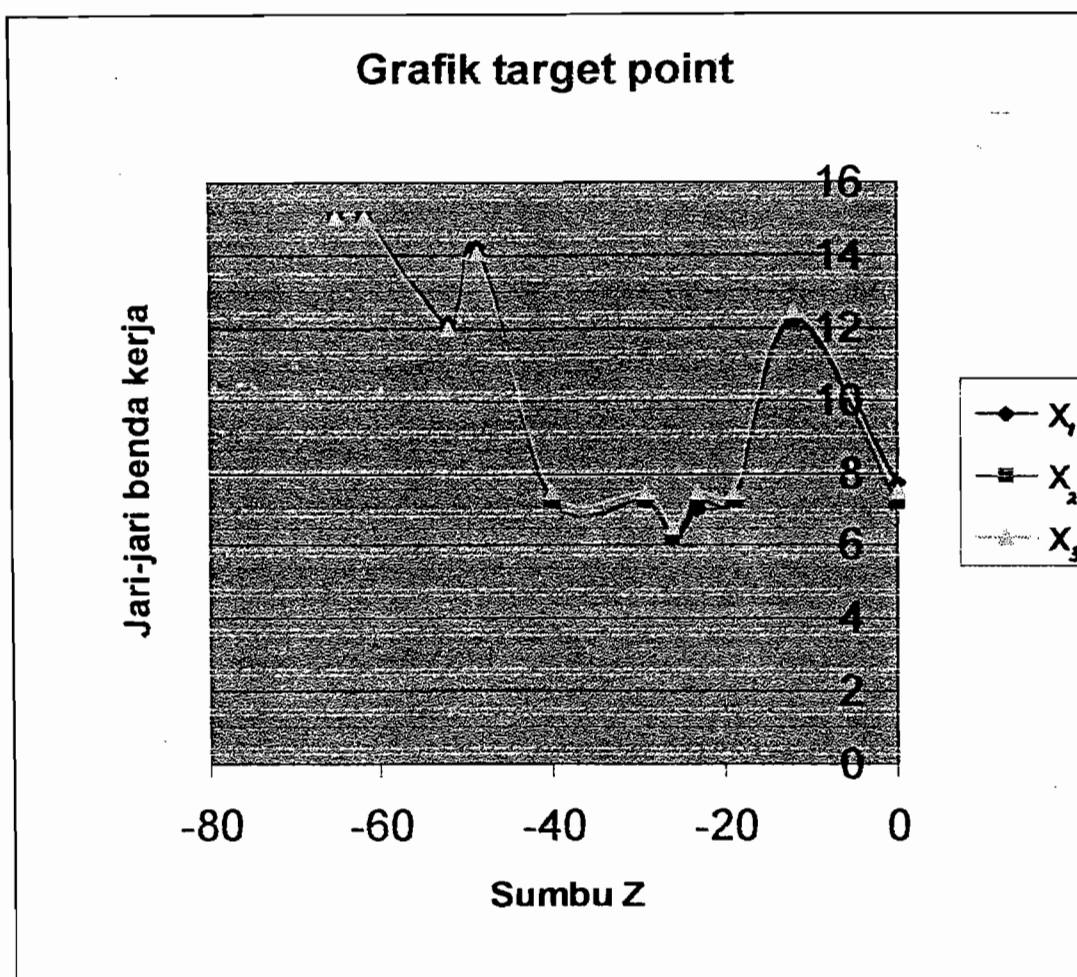
8.	7,25	-40,00
9.	14,15	48,25
10.	12,18	-52,00
11.	15,00	-61,60
12.	15,00	-65,00

Tabel 4.2 *Target point* benda B (kompensasi radius)

Titik <i>(target point)</i>	X/2	Z
1.	7,20	00,00
2.	12,22	-10,00
3.	12,32	-12,00
4.	7,25	-19,50
5.	7,25	-23,00
6.	6,23	-26,00
7.	7,25	-29,00
8.	7,25	-40,00
9.	14,25	48,25
10.	12,00	-52,00
11.	15,00	-61,80
12.	15,00	-65,00

IV. Analisa Hasil Penelitian

Dari target point yang dihasilkan oleh kedua program pengerjaan CNC , maka dapat ditampilkan dalam bentuk grafik, untuk membandingkan jalannya pemakanan dan dari grafik ini akan dilakukan pembahasan :



X_1 = Program tanpa kompensasi

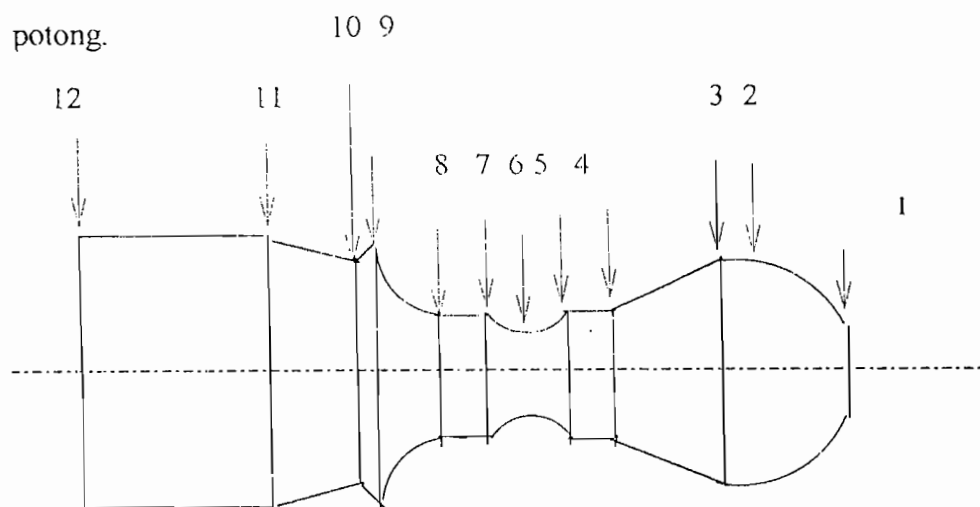
X_2 = Program dengan kompensasi

X_3 = Program dengan posisi *tools* yang benar

Gambar 4.1. Grafik hasil penelitian

IV. 3. Pembahasan

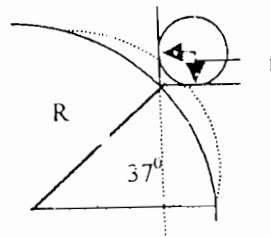
Dari grafik *target point* benda kerja hasil penelitian terlihat dengan jelas jalannya pemakanan, baik pemakanan dengan menggunakan kompensasi radius hidung alat potong maupun pemakanan tanpa kompensasi radius hidung alat potong.



Gambar 4.2 . *Target point*

Pada program CNC tanpa penggunaan kompensasi radius hidung alat potong, *target point* 1 (*finishing* dengan pahat kanan) yang dicapai setelah dilakukan pemakanan kasar dan *finishing*, dihasilkan koordinat terukur (Z_{A1} ; $X_{A1}/2$) = (0 ; 7,7), sedangkan dalam pengerjaan menggunakan kompensasi radius hidung alat potong (Z_{B1} ; $X_{B1}/2$) = (0 ; 7,2). Dua titik *target point* 1 ada penyimpangan ukuran yang mencolok, pada benda kerja A (tanpa radius kompensasi) lintasan pemakanan berada diatas lintasan lingkaran yang benar,

sedangkan pada pengerjaan benda kerja dengan kompensasi radius alat potong berada dibawah lintasan lingkaran menurut data program, prosentase penyimpangan dan bentuk kesalahannya dari masing-masing benda kerja dapat diketahui melalui perhitungan matematika geometri, seperti ditunjukkan dibawah ini :



Gambar 4.3 Penyimpangan pada gerak melingkar

Prosentase penyimpangan untuk benda kerja tanpa penggunaan kompensasi radius alat potong :

$$E = \{ (Z_{B1} + (r - r \cos \alpha))^2 + (X_{B1}/2 + (r - r \sin \alpha))^2 \}^{1/2} - \dots \dots \dots$$

$$\dots \dots \dots - (X_{B1}^2 + Z_{B1}^2)^{1/2}$$

Dengan :

Z_{B1} = Panjang pemakanan searah sumbu Z pada *target point 1* (mm)

$X_{B1}/2$ = Besarnya jari-jari pada *target point 1* (mm)

r = Radius hidung alat potong yang digunakan (0,8 mm)

α = Sudut yang dibentuk dari titik pusat lintasan lingkaran ke

koordinat *target point 1* pada program kompensasi radius ($^{\circ}$).

$$\text{Arc tg } 7,7/10 = 37,5965388725^{\circ}$$

- Maka penyimpangan pada benda kerja A (Z_{A1} ; $X_{A1}/2$) = (0,00 : 7,70) dan (Z_{B1} ; $X_{B1}/2$) = (0,00 : 7,20) adalah :

(a) Penyimpangan secara teoritis :

$$E = ((9,761 + (0,8 - 0,8 \cos 37,5964)^2 + (7,516 + (0,8 - 0,8 \sin 37,5964))^2)^{1/2} - (1^2 + 7,2)^{1/2}$$

$$E = (9,927^2 + 7,828^2)^{1/2} - (9,761^2 + 7,516^2)^{1/2}$$

$$E = 12,64 - 12,32$$

$$E = 0,32 \text{ mm}$$

(b) Penyimpangan berdasarkan penelitian :

$$E = (Z_{A1}^2 + X_{B1}/2^2)^{1/2} - R$$

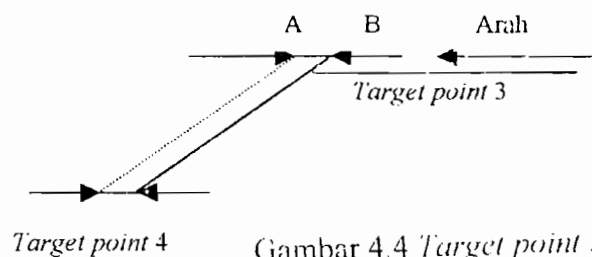
$$E = (7,7^2 + 10^2)^{1/2} - 12,32$$

$$E = 12,62 - 12,32$$

Setelah melihat koordinat dari kedua hasil program tersebut, ada penyimpangan koordinat, koordinat $X_{B1}/2$ yang seharusnya 7,5 dalam penelitian hanya 7,2. Hasil tersebut menandakan bahwa pahat kanan yang digunakan mengalami pemakan sebesar 0,3 mm dari lintasan yang seharusnya (*setting* pahat tidak benar).

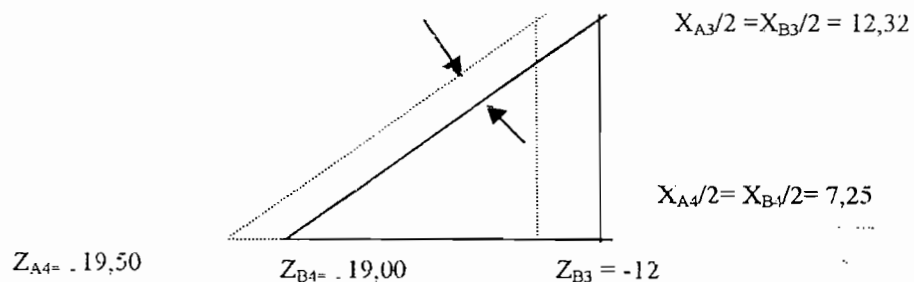
Target point 2 (*finishing* dengan pahat kanan), dari data hasil pengukuran terdapat penyimpangan yang dihasilkan oleh kedua program pengerjaan CNC (penyimpangan oleh karena kesalahan pencatatan pada saat setting alat potong, Kedua titik koordinat yang dihasilkan sama yaitu : untuk program tanpa kompensasi radius (Z_{A1} ; $X_{A1}/2$) = (-10 ; 12,22) dan untuk program dengan kompensasi radius (Z_{B2} ; $X_{B2}/2$) = (-10; 12,22). Koordinat kedua titik tersebut menurut teori menunjukkan suatu lintasan yang benar.

Target point 3 dan 4 (*finishing* dengan pahat kanan), koordinat terukurnya adalah : Untuk benda A (Z_{A3} ; $X_{A3}/2$) = (-12,50 ; 12,32) dan benda B (Z_{B3} ; $X_{B3}/2$) = (-12 ; 12,32). Pada titik koordinat ini ada penyimpangan antara benda A dan benda kerja B, khususnya untuk koordinat Z yang mengalami simpangan sebesar $E = (Z_{A3} - Z_{B4}) = -12,5 - (-12) = -0,5$. Besar penyimpangan tersebut kalau digambarkan, seperti di bawah ini :



Gambar 4.4 *Target point* 3 dan 4

Perhitungan besar penyimpangan untuk *target point* 3 (menurut teori) ada kaitannya dengan koordinat *target point* 4, karena kedua titik ini merupakan satu langkah *finishing* oleh pahat kiri, seperti ditunjukkan gambar dibawah ini :



a) Besar penyimpangan menurut data penelitian :

$$\text{Sudut pemotongan, Arc. tang } (X_{B3}/2 - X_{B4}/2) / (Z_{B4} - Z_{B3}) =$$

$$\text{Arc. tangen } (12,32 - 7,25) / (-12 - (-19)) =$$

$$\text{Arc. Tangen } (5,05 / 7) = 35,81^{\circ}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Besar penyimpangan, } E &= (Z_{A4} - Z_{B4}) \cdot \{(Z_{A4} - Z_{B4}) / \cos 35,81^0\}^2 - \\
 & (Z_{A4} - Z_{B4})^2 \}^{1/2} / \{(Z_{A4} - Z_{B4}) / \cos 35,81^0\} = \\
 &= 0,5 \cdot (0,62^2 - 0,5^2)^{1/2} / (0,62) \\
 &= 0,29 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

b) Penyimpangan menurut teori matematis :

$$\begin{aligned}
 E &= r (1,414 \cos(45^0 - 35,81^0) - 1) \\
 E &= 0,8 ((1,414 \cos 9,19^0) - 1) \\
 E &= 0,31 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

c) Selisih penyimpangan $\Delta E = 0,31 - 0,29 = 0,02 \text{ mm}$

Target point 5, 7 dan 8, koordinat titik ini berada lurus sejajar sumbu Z, dan segaris dengan *target point 4*, karena pada titik-titik ini dilakukan satu kali *finishing* oleh pahat kanan, di tiga titik tersebut memiliki harga X yang sama baik untuk program tanpa kompensasi maupun program dengan kompensasi. Harga koordinat Z sesuai dengan posisi koordinat Z pada program. Koordinat terukur ke tiga titik tersebut adalah : untuk program tanpa kompensasi A $(Z_{A5}; X_{A5}/2) = (-23,00; 7,25)$, $(Z_{A7}; X_{A7}/2) = (-29,00; 7,25)$, $(Z_{A8}; X_{A8}/2) = (-40,00; 7,25)$ dan untuk program kompensasi radius B $(Z_{B5}; X_{B5}/2) = (-23,00; 7,25)$, $(Z_{B7}; X_{B7}/2) = (-29,00; 7,25)$, $(Z_{B8}; X_{B8}/2) = (-40,00; 7,25)$, ke tiga titik ini tidak ada penyimpangan karena merupakan pemotongan yang paralel dengan sumbu utama mesin, sehingga posisi koordinat alat potong saat pemakanan benda kerja tanpa kompensasi dan pemakanan benda kerja dengan kompensasi berada segaris secara horisontal. Penyimpangan harga Z benda A pada *target point 5* sebesar 0,1 mm.

Target point 6 (finishing pahat kanan), titik ini berada pada tengah-tengah lingkaran $r = 5$ mm, sebenarnya *target point 6* ini bukan merupakan target point yang dicatat dalam program, peneliti hanya ingin mendapatkan data yang lebih variatif pada macam-macam lintasan pemakanan. Koordinat terukur dari kedua benda kerja sama yaitu $(Z_{A6}; X_{A6}/2) = (Z_{B6}; X_{B6}/2) = (6,23; -26,00)$, berarti tidak ada penyimpangan pada tengah-tengah lingkaran.

Target point 9 (finishing menggunakan pahat kanan), pada titik ini sebelumnya dilakukan pemakanan melingkar dengan jari-jari $R_9 = 8,5$ mm, berpusat pada titik $(Z, X/2) = (-40; 16)$. Pembuatan lingkaran berawal dari target point 8 $(Z_{A8}; X_{A8}/2) = (-40; 7,25)$. Koordinat terukur untuk benda A adalah $(Z_{A9}; X_{A9}/2) = (-48,25; 14,15)$ dan benda B $(Z_{B9}; X_{B9}/2) = (-48,25; 14,25)$. Kedua benda kerja menunjukkan koordinat yang berbeda ini berarti ada penyimpangan pada gerakan alat potong dan menghitung besar penyimpangan dapat menggunakan rumus gerak melingkar.

$$E = \{ [Z_1^2 + X_1^2] - (Z_1 - (r - r \cos \alpha))^2 + (X_1 - (r - r \sin \alpha))^2 \}^{1/2}$$

Keterangan :

Z_1 = koordinat Z pada lintasan yang benar/kompensasi radius dari pusat lingkaran

X_1 = koordinat X pada lintasan yang benar/ kompensasi radius dari pusat lingkaran

α = sudut kedudukan pahat terhadap pusat pusat lingkaran

r = Radius alat potong yang dipakai

Maka besar simpangan dapat dicari sbb :

a) Penyimpangan menurut data penelitian :

$$\begin{aligned} E &= \{(X_{B9}^2 + Z_{B9}^2)\}^{1/2} - \{(X_{A9}^2 + Z_{A9}^2)\}^{1/2} \\ &= (1,75^2 + 8,25^2) - (1,85^2 + 8,25^2)^{1/2} \\ &= 8,43 - 8,45 = -0,02 \end{aligned}$$

b) Penyimpangan menurut matematika :

$$\begin{aligned} E &= 8,5 - \{(X_{A9}^2 + Z_{A9}^2)\}^{1/2} = \\ E &= 8,5 - 8,45 \\ &= 0,05 \text{ mm} \end{aligned}$$

Target point 10 (*finishing* menggunakan pahat netral), pada titik ini sebelumnya dilakukan pemakanan kasar oleh pahat kanan yang akhirnya pahat tersebut melakukan pemakanan diluar program perencanaan benda kerja, pemakanan diluar program ini berada diantara *target point 9* dan *target point 10* walaupun pemakanan diluar program perencanaan tapi pengaruh penggunaan kompensasi radius alat potong masih dapat dihitung, karena titik-titik yang dituju sesuai program tidak ikut terpotong/hilang. Koordinat terukur untuk *target point 10* adalah sbb : untuk benda A ($Z_{A10}; X_{A10}/2$) = (-52; 12,24) dan untuk benda B ($Z_{B10}; X_{B10}/2$) = (-52; 12,00) Titik ini membuktikan bahwa dengan data alat yang tepat pencatatannya dari titik referensi, maka dari hasil pemakain fasilitas radius kompensasi diperoleh koordinat terukur yang sesuai dengan rencana (sesuai dengan ukuran benda kerja yang diinginkan).

Target point 11 (*finishing* menggunakan pahat netral), titik ini berada pada ujung yang menempel diameter $X=30$ mm, sebelumnya dilakukan pemakan miring serta *finishing* dengan sudut 17° dari diameter $X_{10} = 24$ mm ke arah sumbu Z, pada titik ini ada penyimpangan jalannya pemakanan sebesar 0,1 mm dalam

oleh program tanpa radius kompensasi arah sumbu Z dan pemakaian program radius hidung alat potong berada pada titik yang sesuai dengan rencana. Koordinat terukur untuk benda A ($Z_{A11}; X_{A11}/2$) = (-61,70; 15) dan benda B ($Z_{B11}; X_{B11}/2$) = (-61,80; 15).

Target pont 12 (finishing menggunakan pahat netral), pada titik ini tidak terjadi penyimpangan, pada titik ini sebelumnya dilakukan pemakanan paralel/lurus. Koordinat terukurnya, untuk benda A ($Z_{A12}; X_{A12}/2$) = (-65; 15) dan benda B ($Z_{B12}; X_{B12}/2$) = (-65; 15).

BAB V

KESIMPULAN DAN PENUTUP

V.1. Kesimpulan

Kompensasi radius alat potong mempengaruhi ketelitian benda kerja yang dihasilkan oleh mesin CNC. Program kompensasi radius (G40/ G41/ G42) merupakan program untuk pembetulan jalannya pemotongan pada mesin bubut CNC sehingga ukuran dan bentuk lintasan benar dan tepat. Perlu untuk diketahui bahwa tepi setiap dari hidung alat potong merupakan lengkungan kecil yang memiliki radius tertentu (umum : 0,4 mm/ 0,8mm / 1mm) dan pemakanan dilakukan oleh lengkungan hidung alat potong tersebut, merupakan hal yang keliru apabila beranggapan bahwa pemakanan berada pada satu titik yang tetap. Radius hidung alat ini akan mempengaruhi bentuk lintasan pemakanan sehingga mempengaruhi juga ukuran / ketelitian benda kerja yang dihasilkan, khususnya pada pembubutan yang mengalami pemakanan yang tidak paralel dengan sumbu utama mesin seperti lintasan melengkung dan miring.

Besarnya kesalahan/penyimpangan ukuran yang dihasilkan tergantung dari besarnya radius hidung alat potong, panjang lintasan dan jenis gerakan hidung alat potong. Hal ini dapat dilihat saat penggunaan pahat kasar kanan misalnya, yang mengalami lintasan miring sebesar 45° maka kesalahan yang dihasilkan dapat mencapai 40% dari besar radius hidung alat potong tersebut.

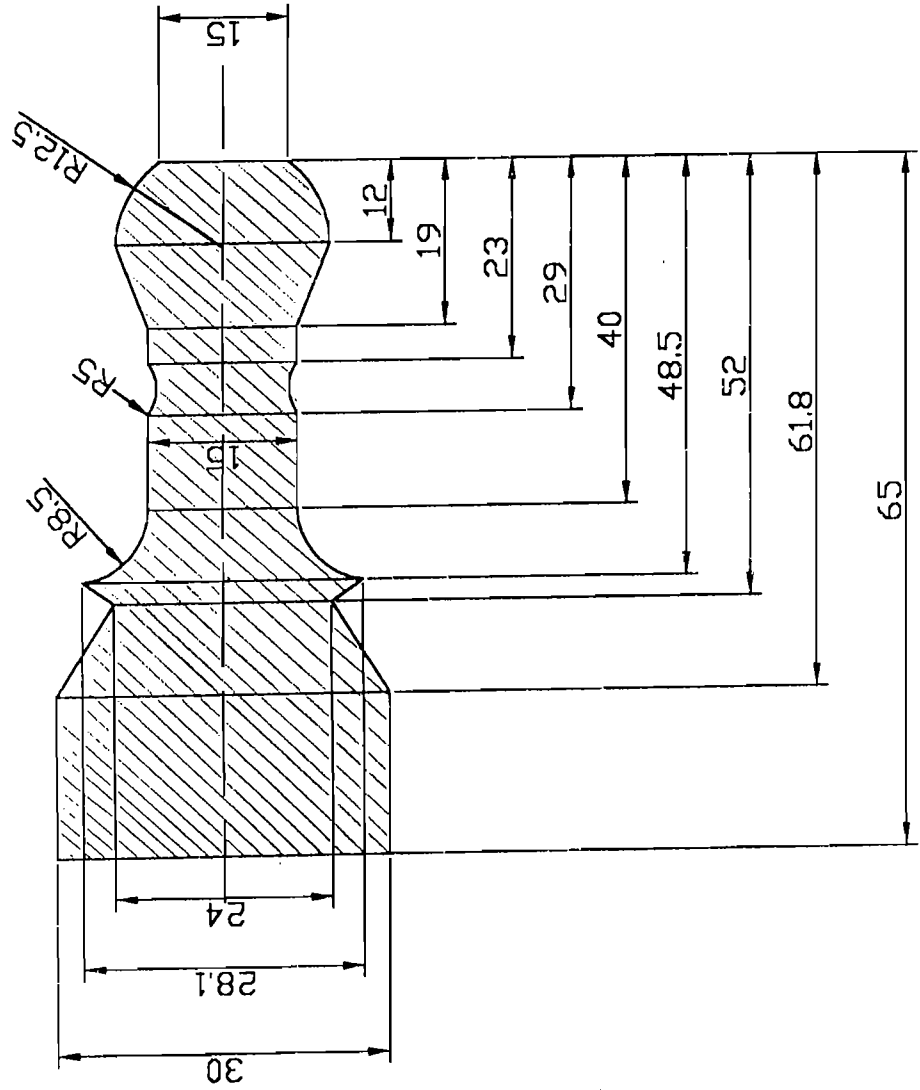
V. Penutup

Penelitian pada Tugas Akhir ini sangat terbatas, yaitu pembuktian pengaruh kompensasi radius untuk gerakan miring dan melingkar serta penilaiannya. Penelitian ini akan lebih bermanfaat apabila dapat diteruskan dengan spesifikasi gerakan-gerakan pahat, misalnya mencatat setiap jenis pahat yang digunakan dan besar sudut lintasan(gerakan miring), setiap panjang busur lingkaran dll.

DAFTAR PUSTAKA

- EMCO MIER Ges. m. b. H. , 1990, "EMCO TURN 242 Mesin Bubut CNC –
Ukuran Menengah", PO BOX 131A-5400 Hallein, Austria.
- Gibbs, D., Crandell, TM., 1991, "An Introduction to CNC Machining and
Programming", Industrial Press, Inc., New York.
- Groover, MP., Zimmer Jr., EW., 1984, "CAD/CAM : Computer Aided Design--
and Manufacturing", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Kief, HB., Waters, TF., 1992, "Computer Numerical Control, a CNC reference
guide", McGraw-Hill Book Co., Singapore.
- Garmo, Paul, E, Black, JT., Kohser, RA., 1988, "Material and Processes in
Manufacturing", Macmillan publishing Company, New York.
- Zeid, I., 1991, "CAD/CAM Theory and Practice", McGraw-Hill, Inc., Singapore.

Lampiran



BENDA KERJA. A

%0010 !*

N0000 G55

N0010 G92 X0.000 Z98.000

N0020 G59

N0030 T0101 M04 S800 F150

N0040 G00 X41.000 Z2.000

N0050 G84 Z 0.000 X0.000 D3=400

N0060 G00 X43.000 Z1.500

N0070 G84 X30.500 Z-70.000 D3=500

N0080 G01 X30.000 Z1.500

N0090 G84 X16.000 Z0.000 P2=-5.000 D3=400

N0100 G01 X30.000 Z1.000

N0110 G84 X19.000 Z0.000 P2=-8.000 D3=400

N0120 G01 X30.000 Z1.500

N0130 G84 X25.500 Z-44.000 D3=500

N0140 G01 X25.500 Z1.000

N0150 G00 X26.000 Z1.500

N0160 G01 X25.500 Z-44.000

N0170 G01 X25.000 Z-14.000

N0180 G01 X24.500 Z-44.000

N0190 G01 X24.000 Z-43.000

N0200 G01 X24.000 Z-14.350
N0210 G01 X24.000 Z-14.350
N0220 G01 X23.000 Z-42.500
N0230 G01 X23.000 Z-15.000
N0240 G01 X22.000 Z-41.500
N0250 G01 X22.000 Z-15.700
N0260 G01 X21.000 Z-40.500
N0270 G01 X21.000 Z-16.350
N0280 G01 X20.000 Z-39.500
N0290 G01 X20.000 Z-17.000
N0300 G01 X19.000 Z-38.000
N0310 G01 X19.000 Z-17.750
N0320 G01 X18.000 Z-38.000
N0330 G01 X18.000 Z-18.350
N0340 G01 X17.000 Z-38.000
N0350 G01 X17.000 Z-19.200
N0360 G01 X16.000 Z-38.000
N0370 G01 X16.000 Z-20.000
N0380 G01 X15.200 Z-38.000
N0390 G01 X15.200 Z-20.350
N0400 G01 X15.200 Z-38.000
N0410 G01 X25.500 Z-44.000
N0420 G00 X42.000 Z-44.000

N0430 G00 X42.000 Z-51.000
N0440 G01 X29.500 Z-51.000
N0450 G01 X29.500 Z-58.000
N0460 G01 X28.500 Z-54.500
N0470 G01 X28.500 Z-52.000
N0480 G01 X27.500 Z-53.200
N0490 G01 X27.500 Z-52.500
N0500 G00 X26.500 Z-53.000
N0510 G01 X26.500 Z-53.250
N0520 G01 X30.000 Z-51.000
N0530 G01 X30.000 Z-60.000
N0540 G01 X25.500 Z-52.200
N0550 G01 X32.000 Z-52.250
N0560 G00 X32.000 Z-18.350
N0570 G01 X 2. 000 Z 2.500
N0580 G01 X 0.000 Z 2. 500
N0590 G03 X25.000 Z-10.000 I0.000 K-12.500
N0600 G01 X25.000 Z-10.000
N0610 G01 X30.000 Z - 9.000
N0620 G00 X80.000 Z 80.000
N0630 T0202 M03
N0640 G00 X25.000 Z - 3.000
N0650 G01 X25.000 Z-12.000

N0660 G01 X15.000 Z-19.000
N0670 G01 X15.000 Z-19.000
N0680 G01 X40.000 Z-19.000
N0690 G00 X80.000 Z 80.000
N0700 T0101 M04
N0710 G00 X40.000 Z-23.000
N0720 G01 X15.000 Z-23.000
N0730 G01 X15.000 Z-40.000
N0740 G01 X15.000 Z-40.000
N0750 G01 X25.000 Z-40.000
N0760 G01 X25.000 Z-44.000
N0770 G01 X24.500 Z-39.000
N0780 G01 X25.000 Z-44.000
N0790 G01 X23.000 Z-39.000
N0800 G01 X22.000 Z-43.000
N0810 G01 X27.000 Z-40.000
N0820 G01 X30.000 Z-46.000
N0830 G01 X15.500 Z-40.000
N0840 G01 X30.000 Z-40.000
N0850 G01 X15.000 Z-40.000
N0860 G02 X27.000 Z-46.000 I6.000 K0.000
N0870 G01 X30.500 Z-40.000
N0880 G01 X15.000 Z-40.000

N0890 G02 X30.000 Z-47.500 I7.500 K0.000
N0900 G00 X50.000 Z 3.000
N0910 G01 X 0.000 Z 2.500
N0920 G03 X25.000 Z-10.000 I 0.000 K-12.500
N0930 G01 X25.000 Z-12.000
N0940 G00 X80.000 Z 80.000
N0950 T 0303 M 03
N0960 G00 X28.000 Z-12.000
N0970 G01 X25.000 Z-12.000
N0980 G01 X15.000 Z-19.000
N0990 G01 X15.000 Z-40.000
N1000 G01 X50.000 Z 40.000
N1010 G00 X80.000 Z 80.000
N1020 T 0101 M 04
N1030 G00 X42.000 Z-23.000
N1040 G01 X40.000 Z-23.000
N1050 G01 X15.000 Z-23.000
N1060 G02 X15.000 Z-29.000 I 4.000 K-3.000
N1070 G01 X15.000 Z-40.000
N1080 G02 X32.000 Z-48.500 I 8.500 K 0.000
N1090 G01 X35.000 Z-47.750
N1100 G00 X80.000 Z 80.000
N1110 T 0303 M 03

N1120 G00 X50.000 Z-47.500
N1130 G01 X30.000 Z-47.500
N1140 G01 X30.000 Z-50.000
N1150 G01 X24.000 Z-52.000
N1160 G01 X30.000 Z-61.830
N1170 G01 X30.000 Z-65.000
N1180 G01 X32.000 Z-65.000
N1190 G 01 X32. 000 Z-65.000
N1200 G00 X80.000 Z80.000
N1210 T000 G53 G56 M05.M09
N1220 M30

%0010 !*

N0000 G55

N0010 G92 X0.000 Z98.000

N0020 G59

N0030 T0101 M04 S800 F150

N0040 G00 X41.000 Z2.000

N0050 G84 Z0.000 X0.000 D3=400

N0060 G00 X43.000 Z1.500

N0070 G84 X30.500 Z-70.000 D3=500

N0080 G01 X30.000 Z1.500

N0090 G84 X16.000 Z0.000 P2=-5.000 D3=400

N0100 G01 X30.000 Z1.000

N0110 G84 X19.000 Z0.000 P2=-8.000 D3=400

N0120 G01 X30.000 Z1.500

N0130 G84 X25.500 Z-44.000 D3=500

N0140 G01 X25.500 Z1.000

N0150 G00 X26.000 Z1.500

N0160 G01 X25.500 Z-44.000

N0170 G01 X25.000 Z-14.000

N0180 G01 X24.500 Z-44.000

N0190 G01 X24.000 Z-43.000

N0200 G01 X24.000 Z-14.350

N0210 G01 X24.000 Z-14.350

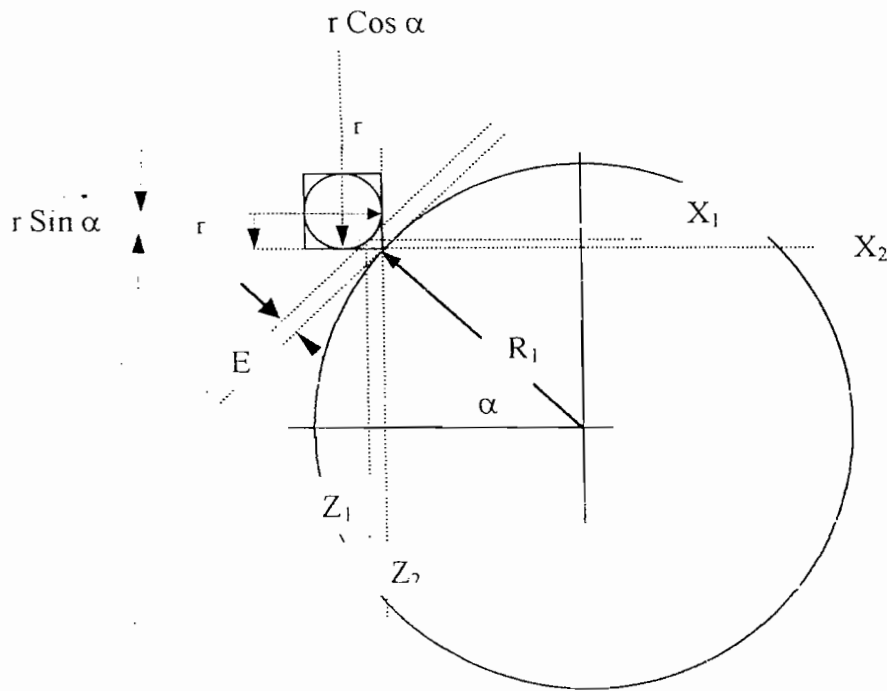
N0220 G01 X23.000 Z-42.500
N0230 G01 X23.000 Z-15.000
N0240 G01 X22.000 Z-41.500
N0250 G01 X22.000 Z-15.700
N0260 G01 X21.000 Z-40.500
N0270 G01 X21.000 Z-16.350
N0280 G01 X20.000 Z-39.500
N0290 G01 X20.000 Z-17.000
N0300 G01 X19.000 Z-38.000
N0310 G01 X19.000 Z-17.750
N0320 G01 X18.000 Z-38.000
N0330 G01 X18.000 Z-18.350
N0340 G01 X17.000 Z-38.000
N0350 G01 X17.000 Z-19.200
N0360 G01 X16.000 Z-38.000
N0370 G01 X16.000 Z-20.000
N0380 G01 X15.200 Z-38.000
N0390 G01 X15.200 Z-20.350
N0400 G01 X15.200 Z-38.000
N0410 G01 X25.500 Z-44.000
N0420 G00 X42.000 Z-44.000
N0430 G00 X42.000 Z-51.000
N0440 G01 X29.500 Z-51.000

N0450 G01 X29.500 Z-58.000
N0460 G01 X28.500 Z-54.500
N0470 G01 X28.500 Z-52.000
N0480 G01 X27.500 Z-53.200
N0490 G01 X27.500 Z-52.500
N0500 G00 X26.500 Z-53.000
N0510 G01 X26.500 Z-53.250
N0520 G01 X30.000 Z-51.000
N0530 G01 X30.000 Z-60.000
N0540 G01 X25.500 Z-52.200
N0550 G01 X32.000 Z-52.250
N0560 G00 X32.000 Z-18.350
N0570 G42 G01 X 2.000 Z 2.500
N0580 G01 X 0.000 Z 2.500
N0590 G03 X25.000 Z-10.000 I0.000 K-12.500
N0600 G01 X25.000 Z-10.000
N0610 G01 G40 X30.000 Z-9.000
N0620 G00 X80.000 Z 80.000
N0630 T0202 M03
N0640 G00 X25.000 Z - 3.000
N0650 G42 G01 X25.000 Z-12.000
N0660 G01 X15.000 Z-19.000
N0670 G01 X15.000 Z-19.000

N0680 G01 G40 X40.000 Z-19.000
N0690 G00 X80.000 Z 80.000
N0700 T0101 M04
N0710 G00 X40.000 Z-23.000
N0720 G42 G01 X15.000 Z-23.000
N0730 G01 X15.000 Z-40.000
N0740 G01 X15.000 Z-40.000
N0750 G01 X25.000 Z-40.000
N0760 G01 X25.000 Z-44.000
N0770 G01 X24.500 Z-39.000
N0780 G01 X25.000 Z-44.000
N0790 G01 X23.000 Z-39.000
N0800 G01 X22.000 Z-43.000
N0810 G01 X27.000 Z-40.000
N0820 G01 X30.000 Z-46.000
N0830 G01 X15.500 Z-40.000
N0840 G01 X30.000 Z-40.000
N0850 G01 X15.000 Z-40.000
N0860 G02 X27.000 Z-46.000 I6.000 K0.000
N0870 G01 X30.500 Z-40.000
N0880 G01 X15.000 Z-40.000
N0890 G02 X30.000 Z-47.500 I7.500 K0.000
N0900 G00 X50.000 Z 3.000

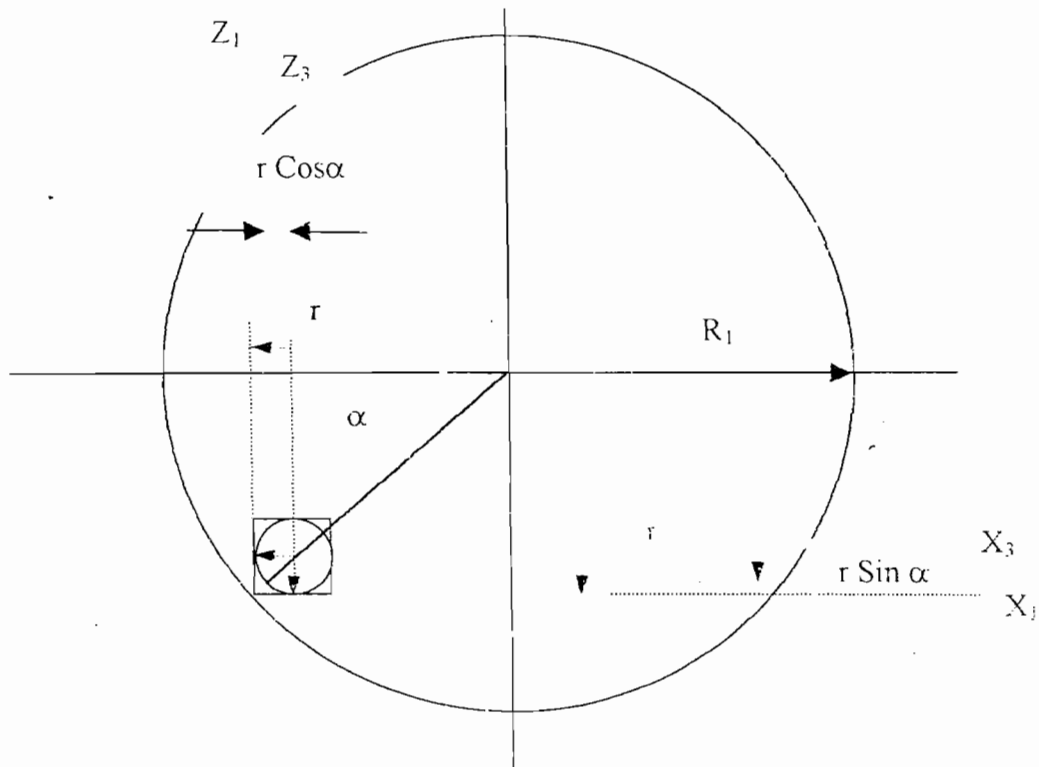
N0910 G01 X 0. 000 Z 2. 500
N0920 G03 X25. 000 Z-10. 000 I 0. 000 K-12. 500
N0930 G40 G01 X25. 000 Z-12. 000
N0940 G00 X80. 000 Z 80. 000
N0950 T 0303 M 03
N0960 G00 X28. 000 Z-12. 000
N0970 G42 G01 X25. 000 Z-12. 000
N0980 G01 X15. 000 Z-19. 000
N0990 G01 X15. 000 Z-40. 000
N1000 G01 G40 X50. 000 Z 40. 000
N1010 G00 X80. 000 Z 80. 000
N1020 T 0101 M 04
N1030 G00 X42. 000 Z-23. 000
N1040 G42 G01 X40. 000 Z-23. 000
N1050 G01 X15. 000 Z-23. 000
N1060 G02 X15. 000 Z-29. 000 I 4. 000 K-3. 000
N1070 G01 X15. 000 Z-40. 000
N1080 G02 X32. 000 Z-48. 500 I 8. 500 K 0. 000
N1090 G01 G40 X35. 000 Z-47. 750
N1100 G00 X80. 000 Z 80. 000
N1110 T 0303 M 03
N1120 G00 X50. 000 Z-47. 500
N1130 G01 G42. X30. 000 Z-47. 500

Rumus Geometri Simpangan Ukuran Untuk Gerakan Melingkar G 03



- $E =$ Besar simpangan (mm)
 $Z_1 =$ Koordinat terukur benda kerja dengan kompensasi radius pada sumbu Z
 $X_1 =$ Koordinat terukur benda kerja dengan kompensasi radius pada sumbu X
 $Z_2 =$ Koordinat terukur benda kerja tanpa kompensasi radius pada sumbu Z
 $X_2 =$ Koordinat terukur benda kerja tanpa kompensasi radius pada sumbu X
 $r =$ Radius alat potong (mm)
- $Z_2 = Z_1 + (r - r \cos \alpha)$
 $X_2 = X_1 + (r - r \sin \alpha)$
- $E = R_2 - R_1$
 $R_2 = \{ (Z_1 + (r - r \cos \alpha))^2 + (X_1 + (r - r \cos \alpha))^2 \}^{1/2}$
 $R_1 = \{ Z_1^2 + X_1^2 \}^{1/2}$
 $E = \{ (Z_1 + (r - r \cos \alpha))^2 + (X_1 + (r - r \cos \alpha))^2 \}^{1/2} - \{ Z_1^2 + X_1^2 \}^{1/2}$

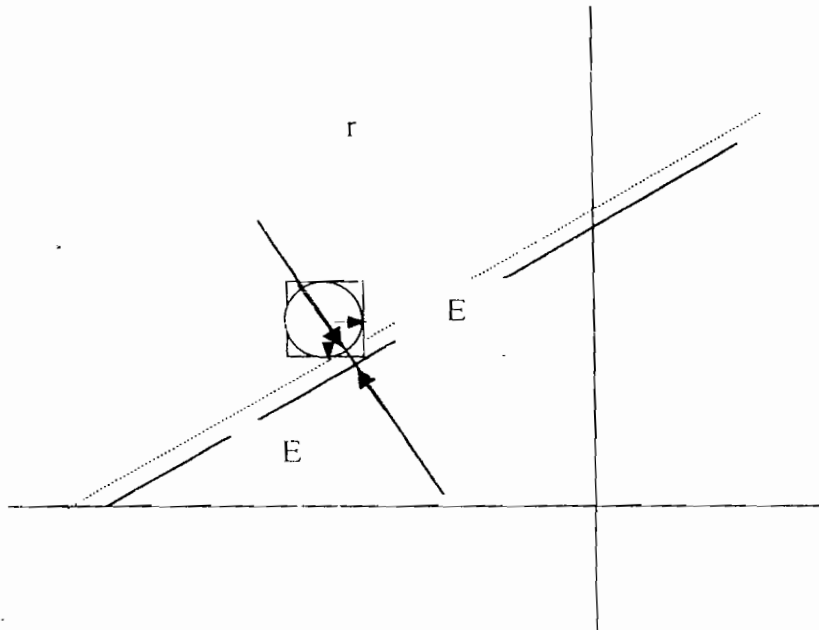
Rumus Geometri Simpangan Ukuran Untuk Gerakan Melingkar G 02



- E = Simpangan ukuran (mm)
 $R_1 =$ Jari-jari lengkungan lintasan alat potong dengan prog. kompensasi radius
 $R_3 =$ Jari-jari lengkungan lintasan alat potong tanpa prog. kompensasi radius
 $Z_1 =$ Koordinat terukur benda kerja dengan kompensasi radius pada sumbu Z
 $X_1 =$ Koordinat terukur benda kerja dengan kompensasi radius pada sumbu X
 $Z_3 =$ Koordinat terukur benda kerja tanpa kompensasi radius pada sumbu Z
 $X_3 =$ Koordinat terukur benda kerja tanpa kompensasi radius pada sumbu X
 $r =$ Radius alat potong (mm)

- $E = R_1 - R_3$
 $R_1 = (Z_1^2 + X_1^2)^{1/2}$
 $R_3 = \{ (Z_1 - (r - r \cos \alpha))^2 + (X_1 - (r - r \sin \alpha))^2 \}^{1/2}$
 $E = \{ (Z_1 - (r - r \cos \alpha))^2 + (X_1 - (r - r \sin \alpha))^2 \}^{1/2} - (Z_1^2 + X_1^2)^{1/2}$

Rumus Geometri Ukuran Untuk Gerakan Miring G 01



• E = Simpangan ukuran (mm)

r = Radius alat potong

• $E = r (1,414 \text{ Ccs } (45^\circ - \alpha) - r)$

