

BAB I

Pengenalan Perangkat Lunak CAD/CAM dan Mastercam versi 9

CAD/CAM adalah singkatan dari *Computer- Aided Design and Computer-Aided Manufacturing*. Aplikasi CAD/CAM digunakan untuk mendesain suatu bagian mesin dan membuat program CNC untuk proses pemesinannya (MasterCam, 2008:1). Terdapat banyak perangkat lunak CAD/CAM yang beredar di pasaran, antara lain: Emcodraft CadCam, MasterCam, BobCam, DelCam, dan SolidCam. Pada buku ini akan dibahas penggunaan perangkat lunak Mastercam dan pembuatan program CNC untuk mesin bubut CNC dan mesin frais CNC.

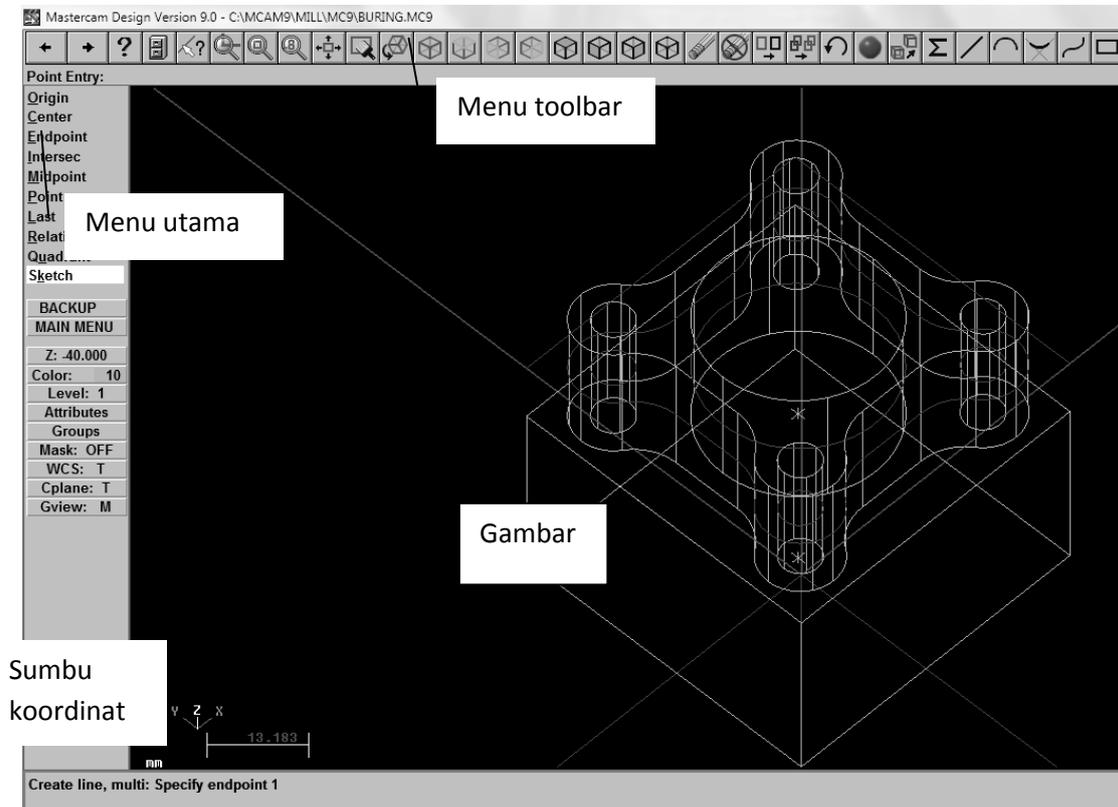
Perangkat lunak Mastercam adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh CNC Software, Inc dari Amerika Serikat. Mastercam adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menggambar (*design*) dan membuat program CNC. Program CNC yang dibuat digunakan untuk memprogram mesin bubut (*lathe*), mesin frais (*mill*) dan mesin *wire cutting*. Mastercam versi 9 terdiri dari empat buah program tersebut. Perangkat lunak mastercam memungkinkan pengerjaan mendesain, kemudian merencanakan proses pembuatannya melalui simulasi baik untuk mesin bubut, frais, maupun *wire cutting* dilaksanakan secara berurutan atau simultan.

Proses menggambar benda kerja pada Mastercam 9 dapat dilakukan pada program mastercam *design* atau pada *Lathe 9*, *Mill 9*, atau *Wire 9*. Tampilan ikon program (*shortcut*) Mastercam dibuat tersendiri untuk keperluan menggambar (*design*), proses bubut (*lathe*), proses frais (*mill*) dan proses *wire cutting* seperti Gambar 1.1. Eksekusi program dilakukan dengan cara klik dua kali pada gambar ikon program yang akan dijalankan.



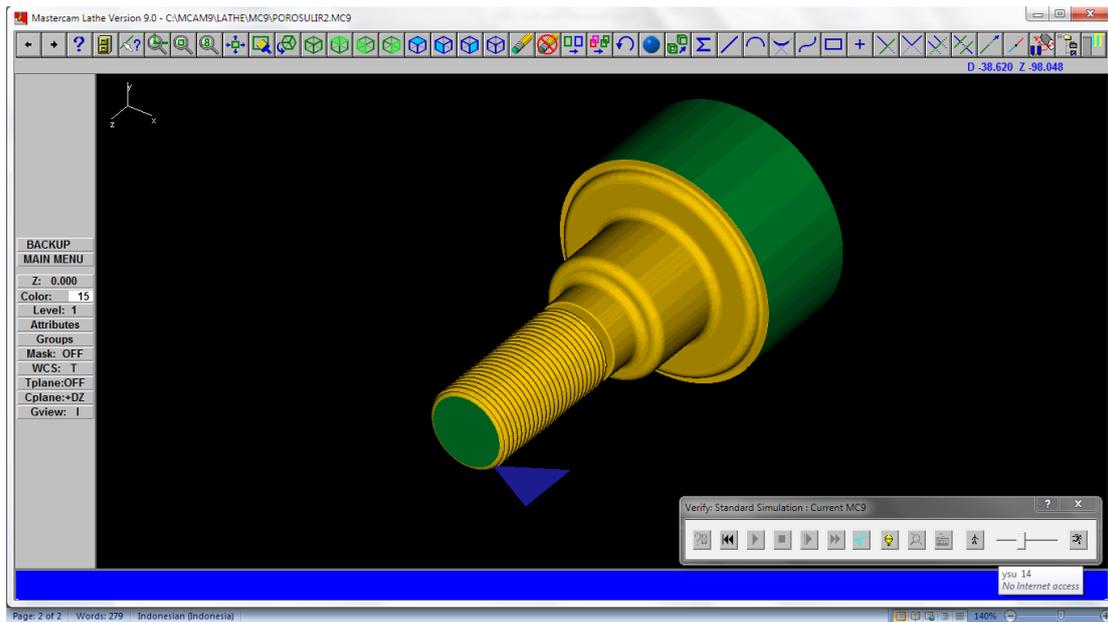
Gambar 1.1. Program Mastercam untuk *Design 9*, *Lathe 9*, *Mill 9* dan *Wire 9*

Program *Design 9* digunakan untuk membuat gambar rancangan atau gambar kerja beserta dimensi- dimensi benda kerjanya. Contoh gambar yang dihasilkan dari proses menggambar pada program *design* dapat dilihat pada Gambar 1.2. Nama-nama bagian-bagian menu utama dapat dilihat juga pada Gambar 1.2 tersebut.

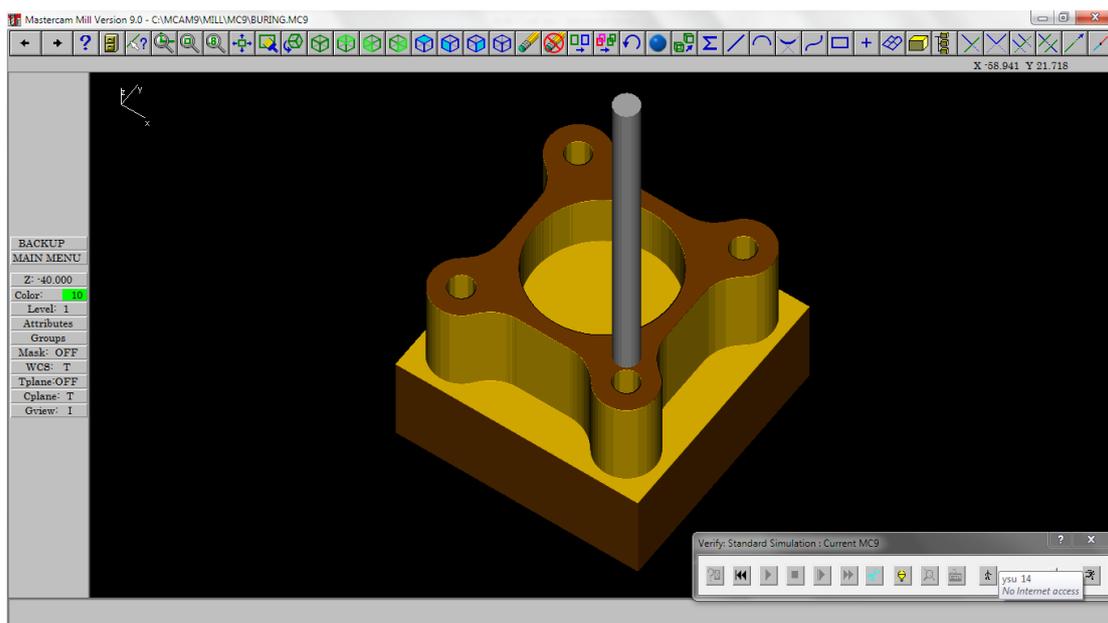


Gambar 1.2. Menu utama mastercam Design9 dengan gambar yang dihasilkan

Program *Lathe 9* digunakan untuk menggambar kontur benda kerja bubut, dan merencanakan proses pemesinannya melalui simulasi di layar komputer serta membuat program CNC (kode G) dengan *post processor*. Tampilan program *Lathe 9* dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 1.3. Program mastercam *Mill 9* digunakan untuk menggambar benda kerja yang akan dikerjakan dengan mesin frais, dan merencanakan proses pemesinannya melalui simulasi di layar komputer serta membuat program CNC (kode G) dengan *post processor*. Tampilan program *Mill 9* dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 1.4.



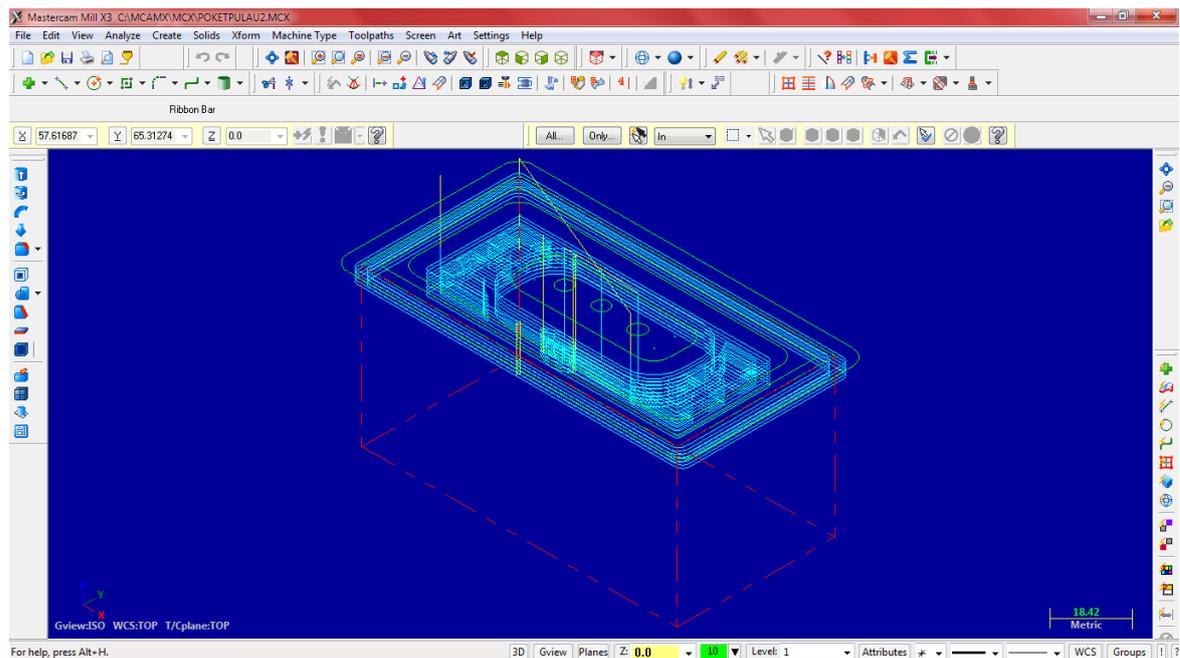
Gambar 1.3. Program mastercam *Lathe* 9 dan hasil simulasi program proses bubut



Gambar 1.4. Program mastercam *Mill* 9 dan hasil simulasi program proses frais

Selain mastercam versi 9, pada buku ini juga dibahas program mastercam versi X. Mastercam versi X ini adalah versi sesudah versi 9. Ada beberapa perubahan yang dilakukan oleh pihak pembuat perangkat lunak mastercam untuk versi X ini, antara lain: tampilan menu menyesuaikan dengan tampilan menu versi windows, program menggambar dan simulasi pemesinan bubut, frais dan *wire* dijadikan satu, perbaikan pada tampilan *toolbar*, dan perbaikan pada beberapa proses pemesinan

bubut maupun frais. Selain itu mastercam X bisa juga digunakan untuk *router*, *5 axis*, dan *art*. Walaupun demikian, cara mengoperasikan mastercam 9 dan mastercam X dapat dikatakan 80% sama, artinya seseorang yang telah menguasai mastercam 9 akan dengan mudah belajar mengoperasikan mastercam versi X. Selain dari itu, *file* gambar maupun program CNC yang dibuat dengan menggunakan mastercam 9 dapat dijalankan di mastercam X. Tampilan antar muka mastercam X dapat dilihat pada Gambar 1.5 di bawah.



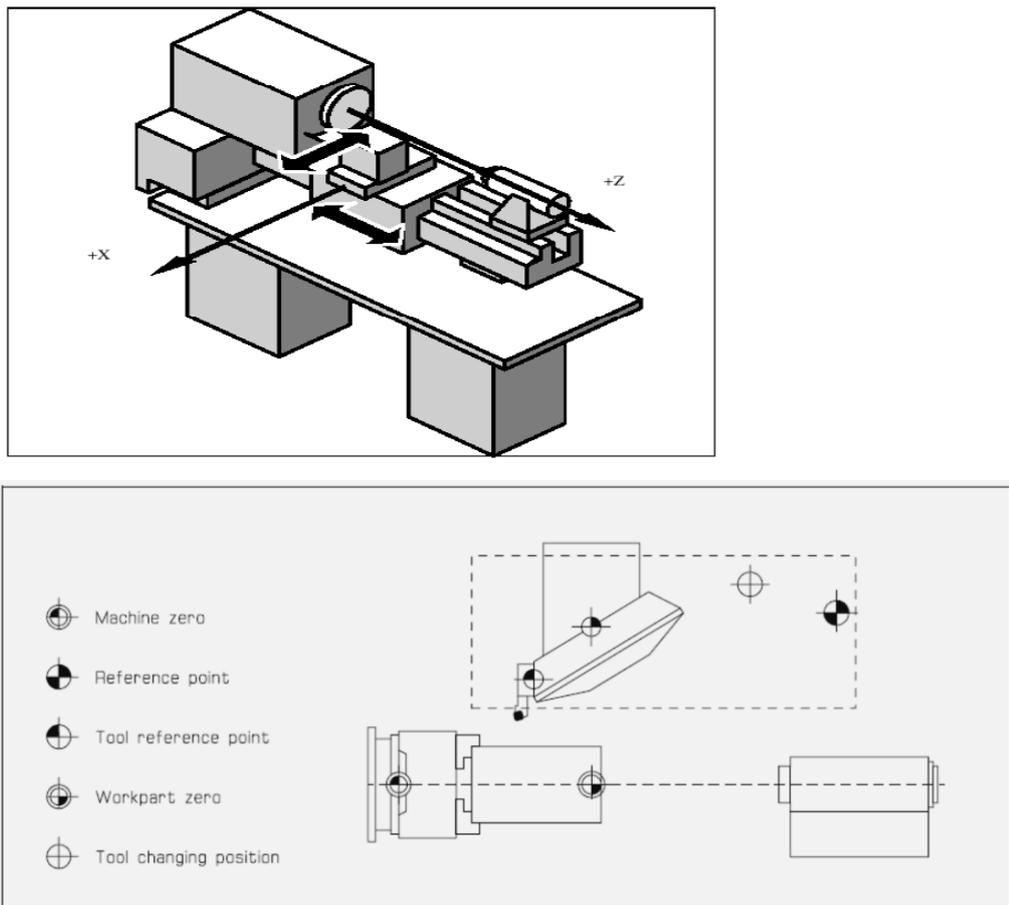
Gambar 1.5. Antar muka (*interface*) mastercam X3

Pengetahuan atau kemampuan yang harus dikuasai untuk dapat menggunakan perangkat lunak mastercam ini adalah: (1) kemampuan mengoperasikan komputer dengan sistem operasi *windows*, (2) kemampuan membaca gambar kerja, (3) menguasai teori dan praktik proses pemesinan bubut CNC dan frais CNC, dan (4) kemampuan melakukan pengukuran menggunakan alat ukur presisi. Pada Bab II akan dibahas mengenai mesin CNC dan pemrogramannya yang dapat menjadi dasar pengetahuan untuk mengoperasikan perangkat lunak mastercam. Pembahasan secara mendetail mengenai pengoperasian program mastercam *Lathe* dan *Mill* akan dibahas mulai Bab III sampai Bab V.

BAB II MESIN PERKAKAS CNC

A. Mesin Bubut CNC

Mesin perkakas CNC (*Computer Numerical Controlled*) adalah mesin perkakas yang dalam pengoperasian proses pemotongan (*cutting*) benda kerja oleh pahat/alat potong dibantu dengan kontrol numerik dengan menggunakan komputer. Arah gerakan pahat pada mesin perkakas CNC disepakati menggunakan sistem koordinat. Sistem koordinat pada mesin bubut CNC (Gambar 2.1) adalah sistem koordinat kartesian dengan dua sumbu yaitu sumbu X, dan sumbu Z. Sistem koordinat mesin (MCS=*Machine Coordinate System*) tersebut bisa dipindah-pindah titik nolnya untuk kepentingan pelaksanaan seting, pembuatan program CNC dan gerakan pahat. Titik- titik nol yang ada pada mesin bubut CNC adalah titik nol Mesin (M), dan titik nol benda kerja (W).

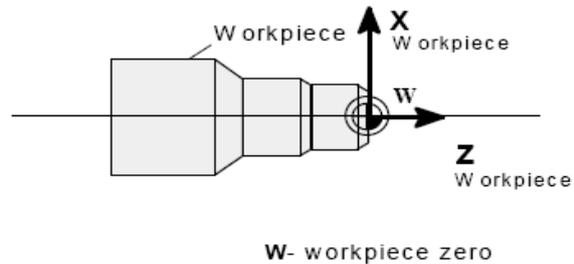


Gambar 2.1. Sistem koordinat pada mesin bubut CNC (MCS), dan titik nol yang ada di mesin bubut CNC (Siemens,2003 ; MTS.,1999)

Sumbu X didefinisikan sebagai sumbu yang tegak lurus terhadap sumbu spindel mesin bubut. Arah positif sumbu X adalah arah yang menjauhi sumbu spindel. Sumbu Z adalah sumbu yang sejajar dengan sumbu spindel dan arah positif adalah arah yang menjauhi kepala tetap mesin bubut. Untuk kepentingan pembuatan program CNC digunakan sistem kordinat benda kerja

(*Workpiece Coordinate System= WCS*)

Pemrograman dapat dilakukan menggunakan sistem koordinat absolut dengan nama sumbu (X,Z) atau sistem koordinat inkremental dengan nama sumbu (U,W), atau campuran antara absolut dan inkremental (X/U, U/Z). Pada waktu membuat program dengan sistem koordinat absolut harap diingat bahwa sumbu X adalah harga diameter.



B. Kode pemrograman untuk mesin bubut CNC

Agar dapat menulis program CNC dan memahami apa yang ditulis, maka berikut ini dipaparkan mengenai dasar- dasar pemrograman CNC dan kode-kode instruksi pemrograman CNC. Hal ini harus dipahami lebih dahulu sebagai dasar pemahaman penulisan program CNC.

1) Struktur program

Program CNC terdiri dari blok (*block*) yang berurutan. Setiap blok merupakan langkah pemesinan. Perintah/Instruksi ditulis dalam satu blok dalam bentuk kata-kata (*words*). Blok terakhir dari urutan tersebut berisi kata khusus untuk mengakhiri program yaitu M2.

Tabel 2.1. Struktur program

	Word	Word	Word	...	; Comment
Block	N10	G0	X20	...	; 1st block
Block	N20	G2	Z37	...	; 2nd block
Block	N30	G91	; ...
Block	N40	
Block	N50	M2			; End of program

2) Setiap program memiliki nama sendiri.

Ketika membuat suatu program CNC, nama program bisa ditentukan sendiri oleh pembuat dengan ketentuan sebagai berikut :

- Dua karakter pertama harus merupakan huruf, selanjutnya huruf, angka-angka, atau *underscore* boleh dipakai
- Jangan menggunakan lebih dari 8 karakter
- Jangan menggunakan tanda pisah (-)

Contoh nama program : FRAME521

Ketentuan tersebut berlaku untuk mesin CNC dengan sistem kontrol sinumerik, sedangkan untuk mesin CNC dengan sistem kontrol yang lain disesuaikan dengan karakteristik masing- masing.

3) Struktur kata dan adres adalah seperti Gambar di bawah

Satu kata terdiri dari adres dan harga (value). Adres berupa huruf kapital dan harga berupa angka (lihat Gambar 2.2).

Word	Word	Word
Address Value	Address Value	Address Value
G1	X-20.1	F300
Traverse with linear interpolation	Path or end position for X axis: -20.1 mm	Feed: 300 mm/min

Gambar 2.2. Struktur kata

4) Jumlah karakter pada *adres*

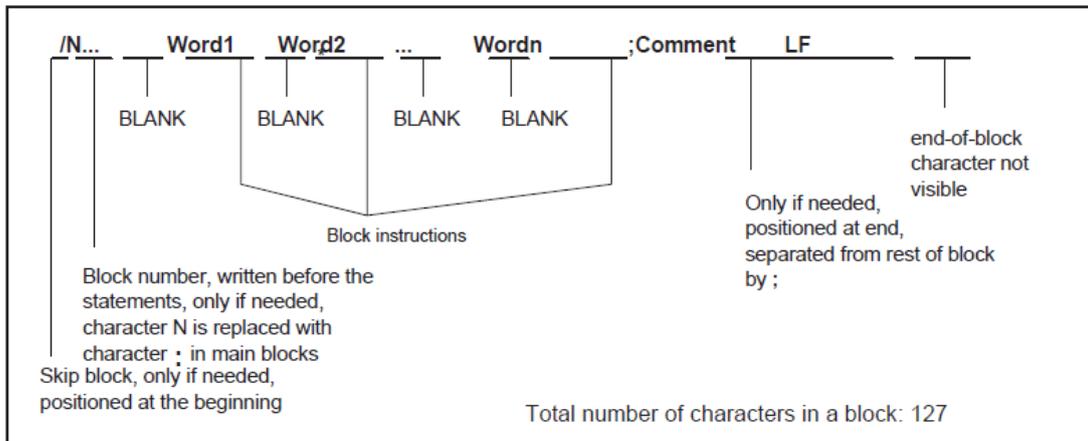
Satu kata boleh berisi beberapa huruf *adres*. Akan tetapi dalam kasus ini, tanda sama dengan “=” harus disisipkan untuk menunjukkan harga dari angkanya terhadap huruf *adres* yang dimaksud.

Contoh : CR=5.23

5) Struktur blok

Suatu blok instruksi (*block instructions*) sebaiknya berisi semua data yang diperlukan untuk melaksanakan satu langkah pemesinan. Blok biasanya terdiri dari beberapa kata dan selalu diakhiri dengan *the end of-block character* “LF” (*line feed*). Karakter

tersebut akan muncul dengan sendirinya ketika tombol *return* atau *input* ditekan ketika kita menulis program. Dalam satu blok jumlah karakter maksimal 127 buah.



Gambar 2.3. Diagram struktur blok/baris program

Pada kontrol CNC Sinumerik 802 S/C nomer program tidak harus ada, akan tetapi sebaiknya kita menulis nomer program agar mudah mengeditnya.

6) Urut-urutan kata

Ketika satu blok terdiri dari lebih dari satu pernyataan, kata-kata dalam satu blok harus diatur dengan urutan sebagai berikut :

N... G... X... Z... F... S... T... D... M...

Pilihlah nomer blok dengan langkah 5 atau 10. Dengan demikian kita masih memiliki tempat untuk menyisipkan beberapa blok lagi, jika nantinya ada kesalahan atau blok program kurang.

7) Blok diabaikan (*Block skipping*)

Blok program yang tidak dikerjakan ketika menjalankan program CNC ditandai dengan tanda garis miring “ / ” di depan nomer blok.

Sewaktu program dikerjakan oleh mesin, maka blok yang diawali dengan tanda “ / ” dilewati atau diabaikan, program yang dikerjakan adalah pada blok selanjutnya.

8) Komentar/ catatan (*comment/remark*)

Catatan dapat digunakan untuk menjelaskan pernyataan dari blok program . Komentar ditampilkan bersama dengan isi program yang lain dari satu blok yang sedang tampil.

Contoh Program :

```
N10 ; G&S Order No. 12A71
N20 ; Pump part 17, Drawing No.: 123 677
N30 ; Program created by Mr. Adam Dept. TV 4
N50 G17 G54 G94 F470 S20 T1 D0 M3 ; Blok Utama
N60 G0 G90 X100 Z2
N70 G0 X98
N80 G1 Z-50
/N90 X102 ;Blok yang diabaikan
N100 X104
N110 G0 Z2
N120 X145 Z5
N130 M5
N140 M2 ;Program berakhir
```

Kode-kode instruksi untuk pembuatan program CNC (Kode G, M,F, T, D, S,LCYC) yang sering digunakan di sini akan dijelaskan sesuai urutan penggunaan kode yang digunakan dalam suatu program CNC. Penjelasan dan gambar yang digunakan diambil dari buku Referensi yang dibuat oleh perusahaan Siemens (2003) untuk sistem kontrol sinumerik. Ringkasan Instruksi yang digunakan secara ringkas dijelaskan di bawah.

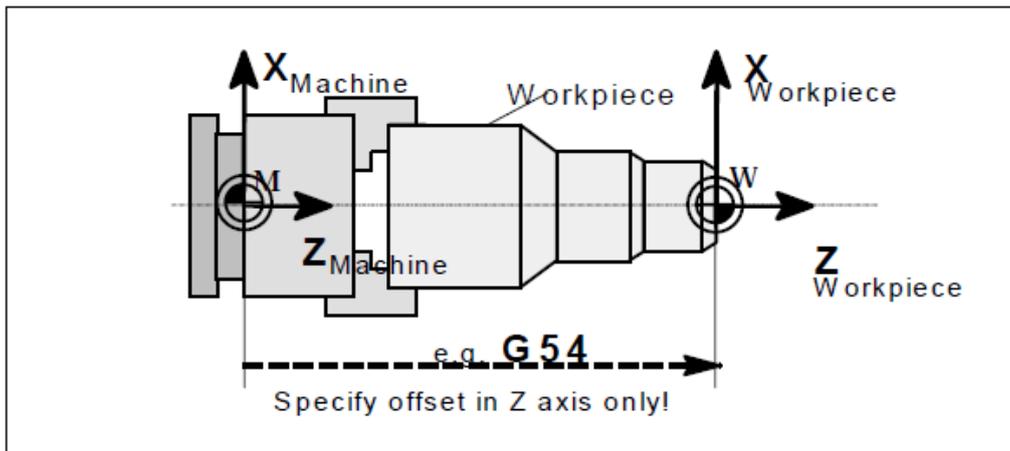
1) G54, pencekaman benda kerja dan pergeseran titik nol mesin ke titik nol benda kerja.

Pergeseran titik nol memberitahukan secara pasti titik nol benda kerja dari titik nol mesin. Pergeseran ini dihitung setelah benda kerja dicekam pada pencekam di mesin dan harus diisikan pada parameter titik nol (*zero offset*). Pergeseran titik nol diaktifkan melalui program CNC dengan menuliskan G54 (lihat gambar di bawah), atau pergeseran titik nol yang lain, misalnya G55, G56, atau G57.

Format :

N... G54; berarti titik nol benda kerja diaktifkan

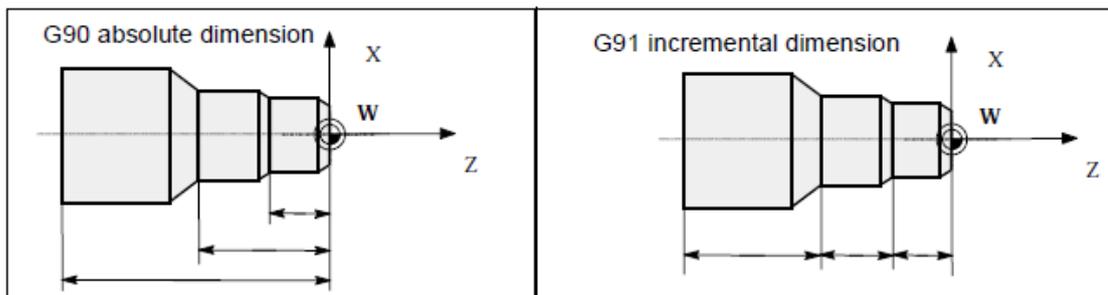
N...



Gambar 2.4. Pemindahan titik nol dari M ke W

2) G90 , pemrograman menggunakan koordinat absolut

Apabila di awal program CNC ditulis G90, maka pemosisian pahat yang diperintahkan menggunakan koordinat absolut dari titik nol benda kerja. Titik nol benda kerja adalah sebagai titik nol absolut atau (0,0,0). Lihat gambar di bawah untuk memahami hal tersebut.



Gambar 2.5. Pengukuran absolut dan incremental

Format :

N.. G90 ; berarti sistem pengukuran absolut diaktifkan

N...

N... G91 ; berarti sistem kordinat yang digunakan adalah *incremental*.

Kode G91 berarti sistem pengukuran yang digunakan menggunakan koordinat relatif atau *incremental*. Pergeseran pahat diprogram dari tempat pahat berada ke posisi berikutnya. Titik nol (0,0,0) berada di ujung sumbu pahat. G91 biasanya digunakan di awal sub rutin (sub program).

3) T, pemanggilan pahat

Pahat yang digunakan dipilih dengan menuliskan kata T diikuti nomer pahat, misalnya T1, T2, T3. Nomer pahat bisa dari angka bulat 1 sampai 32000. Di sistem kontrol maksimum 15 pahat yang bisa disimpan pada waktu yang sama. Apabila akan mengganti pahat, maka pada program CNC ditulis T diikuti angka nomer pahat yang dimaksud.

Format :

N....

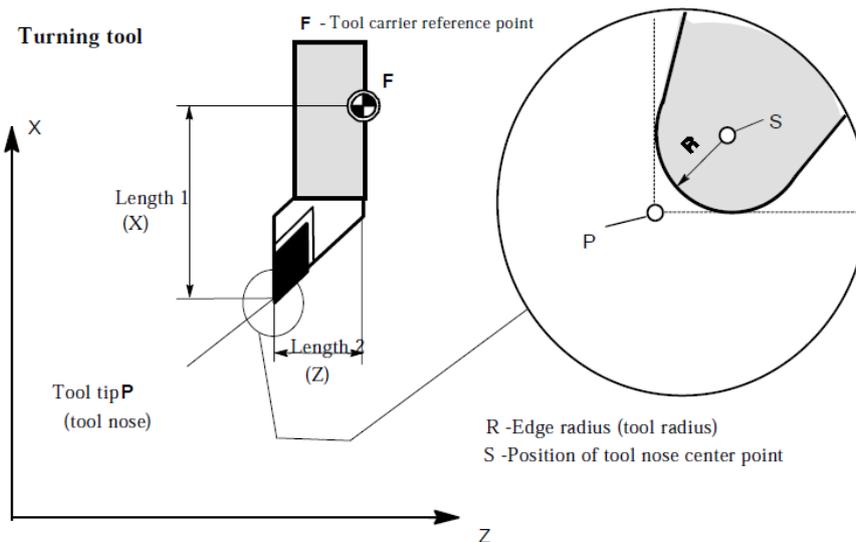
N... T1; berarti pahat 1 diaktifkan

N...

N... T4 ; berarti pahat diganti dengan pahat 4.

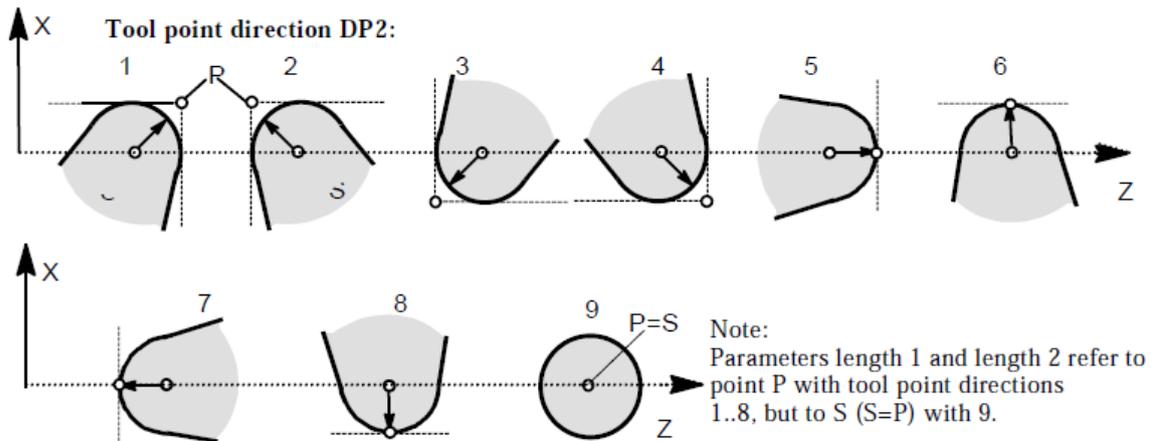
4) D, mengaktifkan kompensasi pahat

Beberapa pahat memiliki panjang dan diameter yang berbeda. Untuk mengaktifkan perbedaan tersebut, maka sesudah menulis nomer pahat (misalnya T1), kemudian diikuti D dengan nomer kompensasi yang dimaksud. Harga kompensasi pahat disimpan pada parameter *tool correction* (lihat gambar di bawah). Harga D adalah antara 1 sampai 9 tergantung bentuk pahat yang digunakan. Pada program CNC. apabila D tidak diprogram, maka harga D yang digunakan adalah D1, apabila D0 berarti pergeseran harga pahat tidak aktif.



Gambar 2.6. Pergeseran posisi pahat (*tool offset*) yang diperlukan

The tool parameter DP2 specifies the tool point direction. Direction value 1 to 9 can be programmed:



Gambar 2.7. Harga *tool offset* juga memerlukan data mengenai arah penyayatan ujung pahat. Harga arah penyayatan adalah 1 sampai 9.

Format :

N...

N... T1 D2; berarti pahat 1 dengan kompensasi 2

N...

N... T5 D8; berarti pahat 5 dengan kompensasi 8.

5) G96 , G97 dan S, kecepatan potong konstan

Fungsi G96 adalah untuk mengatur kecepatan potong. Apabila G96 ditulis kemudian diikuti S, berarti satuan untuk S adalah m/menit, sehingga selama proses pembubutan menggunakan kecepatan potong konstan. G97 berarti pengaturan kecepatan potong konstan OFF, sehingga satuan S menjadi putaran spindel konstan dengan satuan putaran per menit (rpm).

Format :

N... G96 S120 LIMS=... F...; kecepatan potong konstan 120 m/menit

N...

N... G97 ; kecepatan potong konstan OFF

Catatan :

LIMS berarti batas atas putaran spindel. Apabila menggunakan G96 harus diprogram harga putaran maksimal, karena untuk G96 putaran spindel akan bertambah cepat

ketika diameter mengecil dan menjadi tidak terhingga ketika diameternya 0 (misalnya pada proses *facing*). Harga F yang digunakan akan ikut terpengaruh apabila menggunakan G95 dengan satuan mm/putaran. Untuk mengaktifkan jumlah putaran spindel mesin frais CNC digunakan S diikuti dengan harga kecepatan potong dalam satuan meter/menit. Arah putaran spindel mengikuti perintah kode M, yaitu M3 putaran searah jarum jam, dan M4 putaran berlawanan arah jarum jam. Sedangkan perintah M5 putaran spindel berhenti.

Format :

N... M3

N... G97 S1500; berarti putaran spindel searah jarum jam 1500 rpm.

N...

6) F, gerak makan

Gerak makan F adalah kecepatan pergerakan pahat yang berupa harga absolut. Harga gerak makan ini berhubungan dengan gerakan interpolasi G1, G2, atau G3 dan tetap aktif sampai harga F baru diaktifkan pada nomer blok berikutnya di program CNC. Satuan untuk F ada dua yaitu mm/menit apabila sebelum harga F ditulis G94, dan mm/putaran apabila ditulis G95 sebelum harga F. Satuan mm/putaran hanya dapat berlaku apabila spindel berputar.

Format :

N....

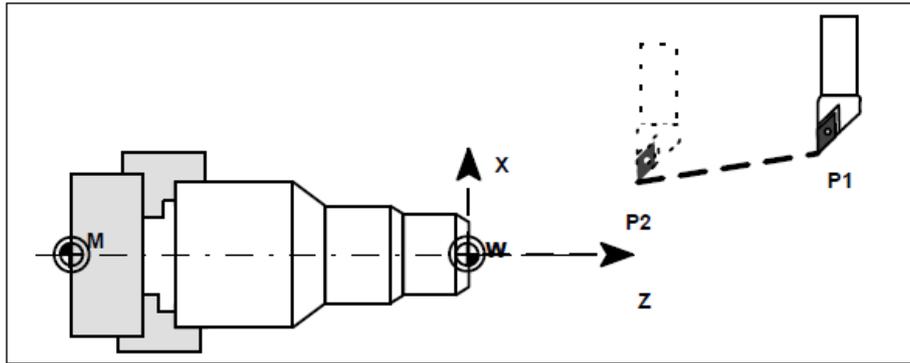
N... G94 F100; berarti harga gerak makan 100 mm/menit

N... M3 S1000

N... G95 F2; berarti gerak makan 2 mm/putaran

7) G0, gerak cepat lurus

G0 berfungsi untuk menempatkan (memposisikan) pahat secara cepat dan tidak menyayat benda kerja. Semua sumbu bisa bergerak secara simultan sehingga menghasilkan jalur lurus (lihat gambar di samping). Perintah G0 akan selalu aktif sebelum dibatalkan oleh perintah dari kelompok yang sama, misalnya G1, G2, atau G3.



Gambar 2.8. Gerak cepat dengan G0

Format :

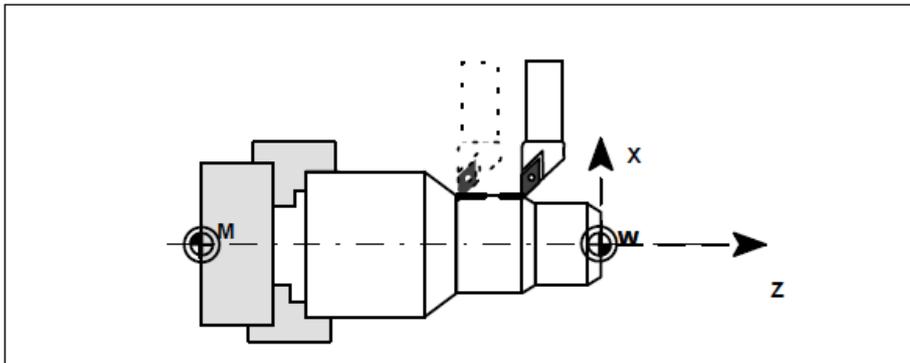
N...

N... G0 X40 Z25; gerak cepat aktif menuju koordinat yg ditulis

N...

8) G1, interpolasi lurus dengan gerak makan tertentu

Fungsi dari perintah G1 adalah menggerakkan pahat dari titik awal menuju titik akhir dengan gerakan lurus. Kecepatan gerak makan ditentukan dengan F. Semua sumbu dapat bergerak bersama (lihat gambar di bawah). Perintah G1 tetap aktif (modal) sebelum dibatalkan oleh perintah dari kelompok yang sama (G0, G2, G3).



Gambar 2.9. Gerak interpolasi lurus G1

Format :

N... G0 X20 Z-40

N... G1 X30 Z-60 F20 ; berarti pahat bergerak lurus menuju

N... G1 Z-72 ; berarti pahat bergerak lurus menuju

N...

9) G2 dan G3, gerakan interpolasi melingkar

Perintah G2 atau G3 berfungsi untuk menggerakkan pahat dari titik awal ke titik akhir mengikuti gerakan melingkar. Arah gerakan ada dua macam yaitu G2 untuk gerakan searah jarum jam, dan G3 untuk berlawanan arah jarum jam (lihat gambar di bawah). Gerak makan pahat menurut F yang diprogram pada baris sebelumnya.

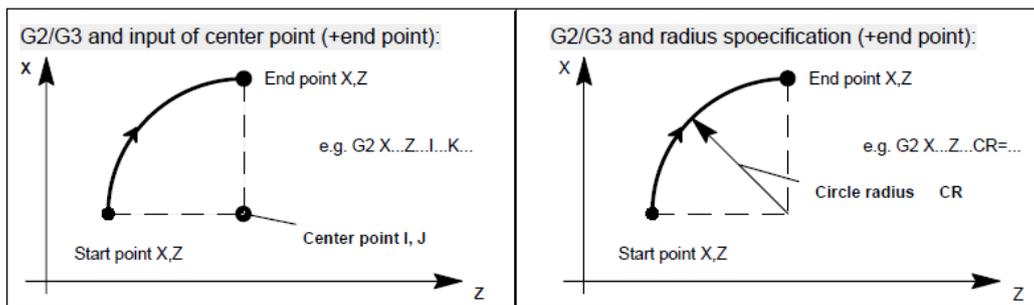
Format :

N...

N... G2 X... Z... I5 K-1; bergerak melingkar ke (X,Z) dengan titik pusat di (5,-1) dari titik awal gerak pahat

N... G2 X... Z...CR=10; bergerak melingkar ke (X,Z) dengan radius 10

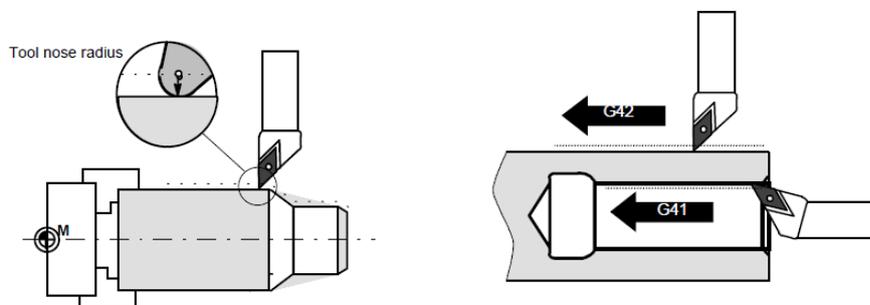
N...



Gambar 2.10. Gerak interpolasi melingkar G2 dan G3

10) G41, G42, G40, kompensasi pahat

Kompensasi radius pahat akan aktif apabila ditulis G41/G42. G41 adalah kompensasi radius kiri, sedangkan G42 adalah kompensasi radius kanan. G40 adalah membatalkan kompensasi radius atau tanpa kompensasi.



Gambar 2.11. Kompensasi pahat G40 G41

Format :

N... G0 X... Y... Z...

N... G42 ; berarti kompensasi radius pahat kanan diaktifkan

N... G1 X... Y...

N...

N... G40 ; berarti kompensasi dibatalkan

11) M2, M3, M4, M5, M8, M9, fungsi tambahan

Kode M ini adalah kode untuk fungsi tambahan. Arti beberapa kode M tersebut adalah :

M2 = program berakhir

M3 = spindel ON dengan putaran searah jarum jam

M4 = spindel ON dengan putaran berlawanan arah jarum jam

M5 = spindel OFF

M8 = coolant ON

M9 = coolant OFF.

Format :

N...

N... M3 ; berarti spindel putar arah kanan

N...

N... M5 ; berarti spindel OFF

N... M2 ; program berakhir

12) G33, pembuatan ulir dengan kisar konstan

Fungsi dari G33 adalah membuat beberapa jenis ulir dengan kisar konstan berikut :

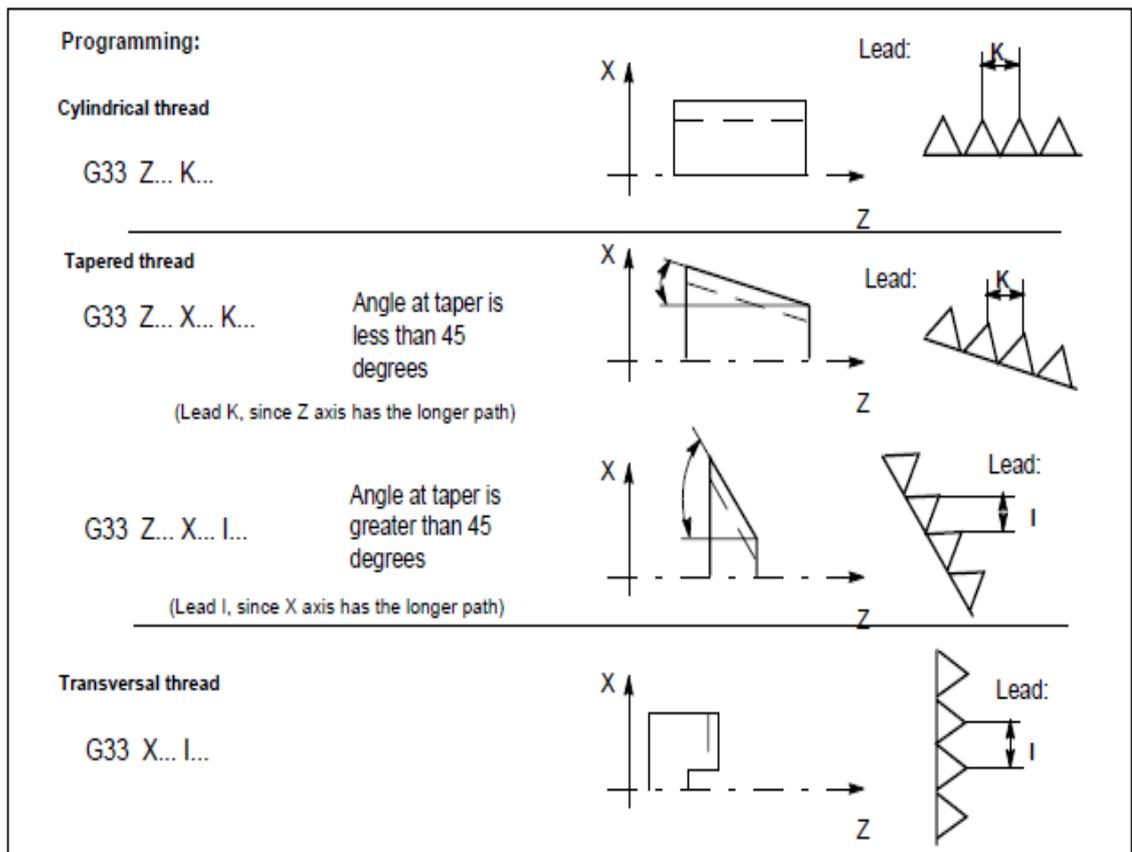
- Ulir pada benda silindris
- Ulir pada benda berbentuk tirus
- Ulir luar dan ulir dalam
- Ulir dengan titik awal tunggal maupun ganda
- Ulir Multi-blok (ulir yang bersambung)

Fungsi pembuatan ulir ini memerlukan spindle dengan sistem pengukuran posisi. G33 tetap aktif sampai dibatalkan oleh instruksi dari kelompok yang sama yaitu G0, G1, G2, dan G3. Jenis ulir kanan atau kiri bisa dibuat dengan G33, proses tersebut diatur dengan arah putaran spindle yaitu M3 untuk ulir kanan dan M4 untuk ulir kiri. Jumlah putaran spindle diatur dengan kode S. Pada waktu membuat ulir harus diperhatikan bahwa titik awal penyayat dan titik akhir penyayat pada titik yang sama.

Format :

- Untuk ulir silindris
 N... G0 X... Z...
 N... G33 Z.... K...
 N....
- Untuk ulir tirus (sudut tirus kurang dari 45^0)
 N... G0 X... Z...
 N... G33 Z.... X.... K... ;
 N....
- Untuk ulir tirus (sudut tirus lebih dari 45^0)
 N... G0 X... Z...
 N... G33 Z.... X.... I... ;
 N....
- Untuk ulir melintang
 N... G0 X... Z...
 N... G33 ... X.... I... ;
 N....

Penjelasan untuk pembuatan ulir tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.12 . Harap diperhatikan bahwa G33 bukan siklus pembuatan ulir, tetapi gerakan pemotongan ulir sekali jalan dengan kisar konstan.



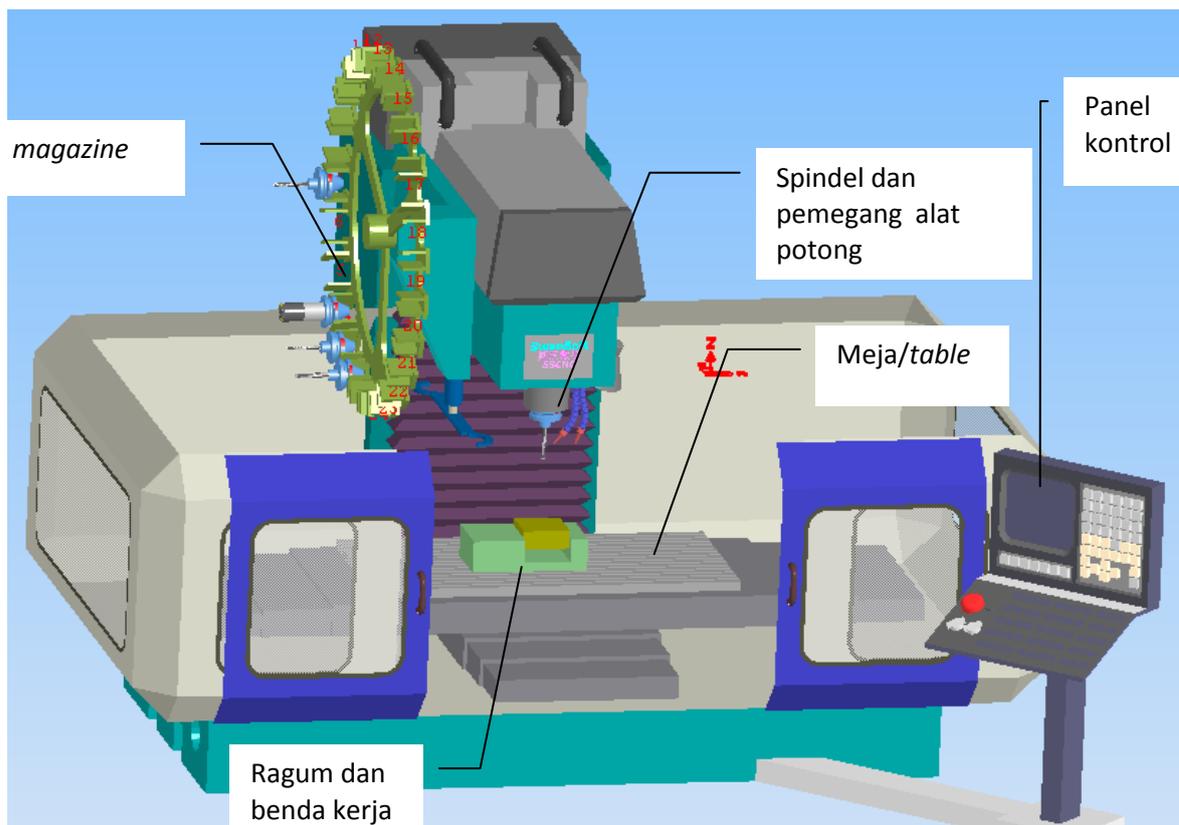
Gambar 2.12. Pemrograman pembuatan ulir dengan G33

C. Mesin Frais CNC

Mesin Frais CNC yang digunakan dalam bahasan ini adalah Mesin Frais CNC yang menggunakan Sistem Kontrol Sinumerik 802S atau 802C *base line*. Bagian-bagian utama mesin frais CNC, panel kontrol mesin CNC dan tata nama sumbu koordinat dijelaskan pada deskripsi materi di bawah ini.

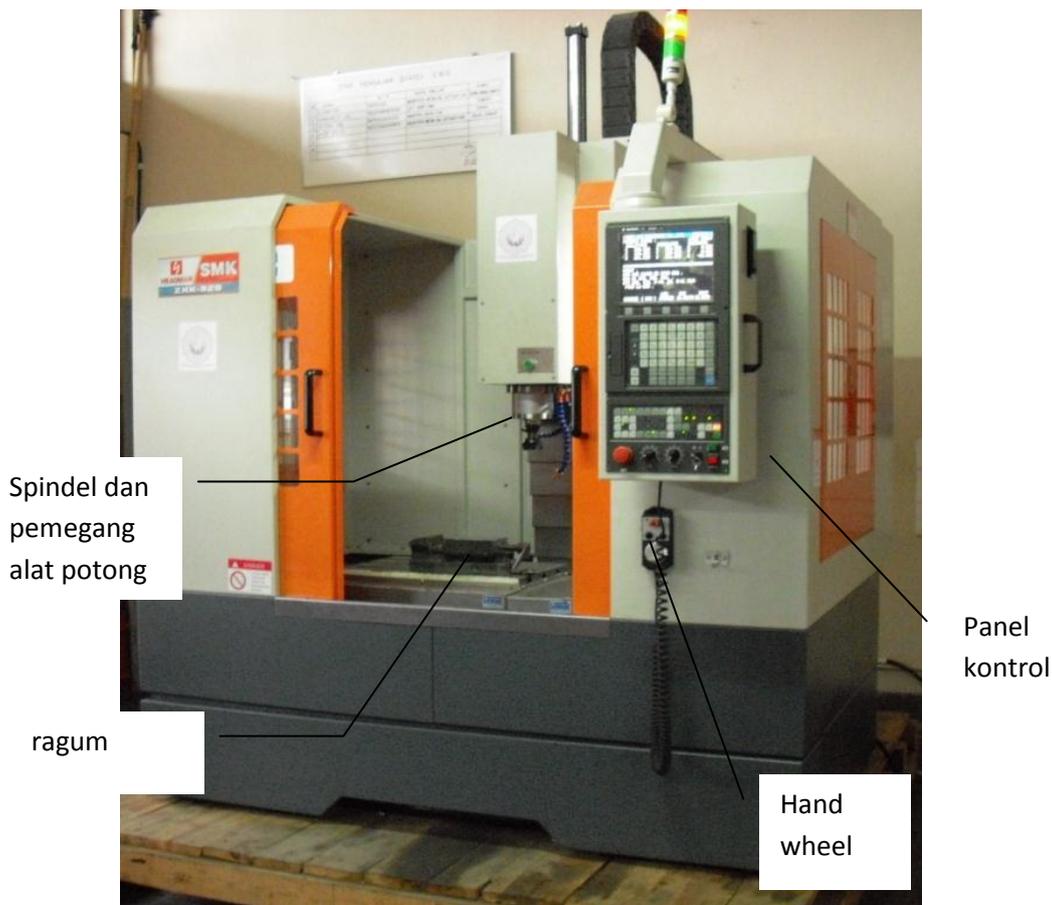
1) Bagian-bagian Utama Mesin Frais CNC

Mesin Frais CNC pada dasarnya memiliki bagian-bagian utama yang sama dengan mesin frais konvensional (manual). Bagian utama mesin frais adalah meja mesin untuk menempatkan pemegang benda kerja, spindel, pemegang alat potong, dan panel kontrol. Gambar skematis mesin frais CNC adalah seperti Gambar 2.13 berikut.



Gambar 2.13. Gambar skematis mesin frais CNC dan nama bagian-bagian utamanya

Meja mesin frais berfungsi untuk meletakkan pemegang benda kerja. Spindel adalah sumbu utama mesin frais yang digunakan untuk menempatkan pemegang alat potong. Panel kontrol berfungsi sebagai pusat pengontrolan gerakan alat potong mesin frais, gerakan meja mesin frais, serta pengaturan arah dan jumlah putaran spindel. Mesin frais CNC memungkinkan penggunaan alat potong lebih dari satu buah dan penggantian alat potong secara otomatis, sehingga alat potong yang akan digunakan ditempatkan di *magazine*. Beberapa Mesin frais CNC tidak dilengkapi dengan *magazine*, sehingga penggantian alat potong dilakukan dengan manual. Beberapa mesin frais CNC dilengkapi dengan *hand wheel* yang digunakan untuk menggerakkan alat potong pada mode manual. Gambar mesin frais CNC tanpa *magazine* dapat dilihat pada Gambar 2.14.



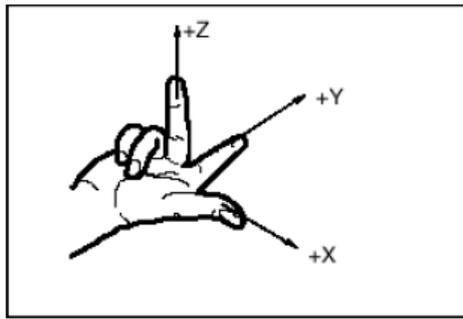
Gambar 2.14. Mesin frais CNC GSK tanpa *magazine*, untuk penggantian alat potong dilakukan secara manual.

2) Tata Nama Sumbu Koordinat pada Mesin Frais CNC

Mesin perkakas CNC adalah mesin perkakas yang dalam pengoperasian proses pemotongan benda kerja oleh alat potong dibantu dengan kontrol numerik berbasis komputer atau CNC (*Computerized Numerical Control*). Untuk menggerakkan alat potong pada mesin perkakas CNC digunakan sistem koordinat. Sistem koordinat yang digunakan pada mesin perkakas CNC adalah sistem koordinat segi empat (*rectangular coordinate systems*) dengan aturan tangan kanan seperti terlihat pada Gambar 2.15. Sumbu koordinat yang digunakan ialah sumbu X, sumbu Y dan sumbu Z. Sistem koordinat ini berfungsi untuk mendeskripsikan gerakan pada mesin sebagai gerakan relatif antara benda kerja dan alat potong.

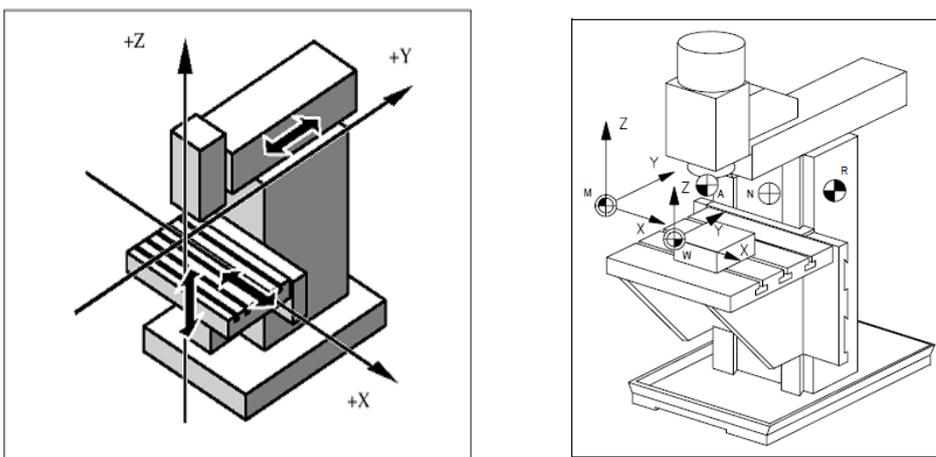
Pada mesin frais CNC sistem koordinat tersebut diterapkan untuk sistem koordinat mesin (MCS= *Machine Coordinate System*) dan sistem koordinat benda kerja (WCS= *Workpiece Coordinate System*). Sistem koordinat mesin yang diberi

simbol M adalah orientasi dari sistem koordinat pada mesin frais CNC. Titik nol (0,0,0) dari sistem koordinat ini dinamakan titik nol mesin (M). Titik nol mesin digunakan sebagai titik referensi, sehingga semua sumbu koordinat titik nolnya di sini. Sistem koordinat tersebut bisa dipindah-pindah titik nolnya untuk kepentingan pelaksanaan seting, pembuatan program CNC dan gerakan alat potong.



Gambar 2.15. Tata nama sumbu koordinat dan arah sumbu koordinat

Sistem koordinat benda kerja diberi simbol W, adalah sistem koordinat yang digunakan untuk mendeskripsikan geometri dari benda kerja. Titik nol benda kerja dapat secara bebas dipindahkan oleh pembuat program CNC. Pembuat program CNC menggunakan sistem koordinat benda kerja untuk memerintah gerakan alat potong. Arah gerakan alat potong dibuat pada program CNC dengan asumsi bahwa pada waktu proses pemotongan alat potong yang bergerak, bukan benda kerjanya. Posisi M dan W dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Sistem koordinat pada mesin frais CNC, dan titik nol yang ada di mesin frais CNC (Siemens,2003 ; MTS.,1999)

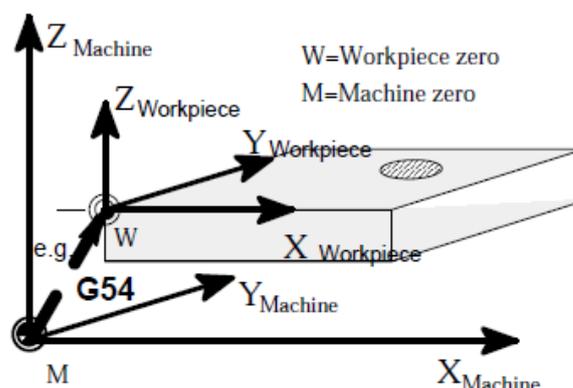
D. Program untuk mesin Frais CNC

Agar dapat menulis program CNC dan memahami apa yang ditulis, maka berikut ini dipaparkan mengenai dasar-dasar pemrograman CNC dan kode-kode instruksi pemrograman CNC. Hal ini harus dipahami lebih dahulu sebagai dasar pemahaman penulisan program CNC. Struktur program CNC untuk mesin frais sama dengan struktur program mesin bubut CNC pada sub bab sebelumnya.

Kode-kode instruksi untuk pembuatan program CNC (Kode G, M, F, T, D, S, LCYC) yang sering digunakan di sini akan dijelaskan sesuai urutan penggunaan kode yang digunakan dalam suatu program CNC pada mesin frais CNC. Kode program atau instruksi untuk pemrograman CNC dibagi dalam dua kelompok yaitu modal dan non modal. Kode program modal berarti kode program tersebut tetap aktif sampai dengan dibatalkan oleh kode program dari kelompok yang sama, misalnya G0 tetap aktif sampai blok program berikutnya dan akan dibatalkan oleh G1, G2, atau G3 di blok program berikutnya. Penjelasan dan gambar yang digunakan diambil dari buku Referensi yang dibuat oleh perusahaan Siemens (2003). Ringkasan Instruksi yang digunakan secara ringkas dijelaskan di bawah.

1) G54, G55, G56, dan G57, pencekaman benda kerja dan pergeseran titik nol mesin ke titik nol benda kerja.

Pergeseran titik nol memberitahukan secara pasti titik nol benda kerja dari titik nol mesin. Pergeseran ini dihitung setelah benda kerja dicekam pada ragum di mesin dan harus diisikan pada parameter titik nol (*zero point offset*). Pergeseran titik nol diaktifkan melalui program CNC dengan menuliskan G54 (lihat gambar di bawah), atau pergeseran titik nol yang lain, misalnya G55, G56, atau G57.



Gambar 2.17. Pergeseran titik nol mesin (M) ke titik nol benda kerja (W)

Format :

N... G54; berarti titik nol benda kerja diaktifkan

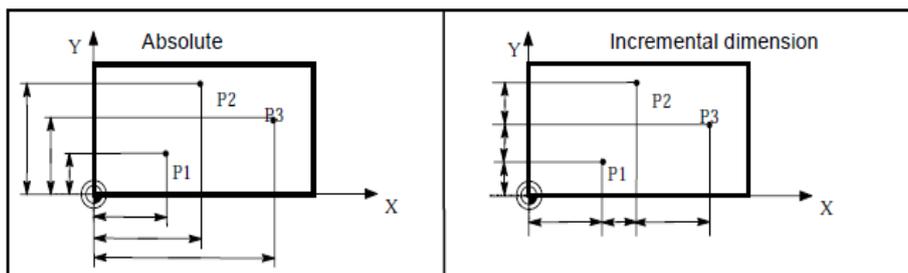
N...

2) G90 pemrograman menggunakan koordinat absolut dan G91 pemrograman menggunakan koordinat *incremental*

Apabila di awal program CNC ditulis G90, maka pemosisian alat potong yang diperintah menggunakan koordinat absolut dari titik nol benda kerja. Titik nol benda kerja adalah sebagai titik nol absolut atau (0,0,0). Lihat gambar di bawah untuk memahami hal tersebut. Apabila menggunakan sistem koordinat absolut, berarti semua perintah gerakan alat potong menuju koordinat tertentu dihitung dari koordinat (0,0,0), sehingga perintah bergerak menuju X10 Y20 Z30 berarti menuju koordinat (10,20,30).

Kode G91 berarti sistem pengukuran yang digunakan menggunakan koordinat relatif atau *incremental*. Pergeseran alat potong diprogram dari tempat alat potong berada ke posisi berikutnya. Titik nol (0,0,0) berada di ujung sumbu alat potong. Perintah bergerak lurus ke X10, berarti alat potong bergerak 10 mm dari posisi alat potong sebelumnya.

G90 ;Absolute dimensioning
G91 ;Incremental dimensioning



Gambar 2.18. Pengukuran dengan sistem koordinat absolut dan inkremental

Format :

N.. G90 ; berarti sistem pengukuran absolut diaktifkan

N...

N... G91 ; berarti sistem kordinat yang digunakan adalah *incremental*.

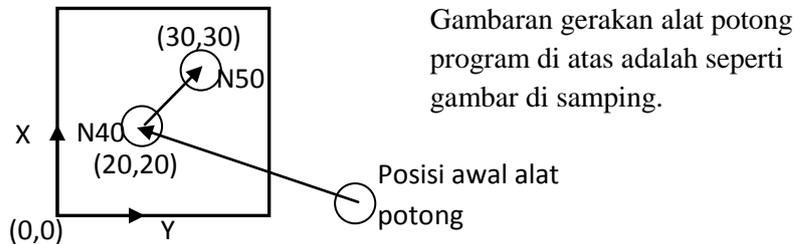
Contoh program 1, menggunakan sistem koordinat absolut:

N30 G90

N40 G0 X20 Y20 ; berarti perintah bergerak menuju koordinat (20,20)

N50 X30 Y30 ; berarti perintah bergerak menuju koordinat (30,30)

.....



Contoh program 2, menggunakan sistem koordinat *incremental*:

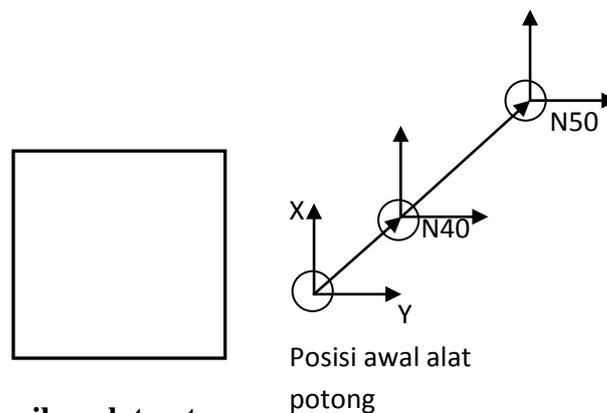
N30 G91

N40 G0 X20 Y20 ; berarti perintah bergerak menuju koordinat (20,20) dari posisi ; awal alat potong

N50 X30 Y30 ; berarti perintah bergerak menuju koordinat (30,30) dari N40.

.....

Gambaran gerakan alat potong adalah seperti gambar di bawah.



3) T, pemanggilan alat potong

Alat potong yang digunakan dipilih dengan menuliskan kata T diikuti nomer alat potong, misalnya T1, T2, T3. Nomer alat potong bisa dari angka bulat 1 sampai 32000. Di sistem kontrol maksimum 15 alat potong yang bisa disimpan pada waktu yang sama. Apabila akan mengganti alat potong, maka pada program CNC ditulis T diikuti angka nomer alat potong yang dimaksud.

Format :

N....

N... T1; berarti alat potong 1 diaktifkan

N...

N... T4 ; berarti alat potong diganti dengan alat potong 4.

4) D, mengaktifkan kompensasi alat potong

Beberapa alat potong memiliki panjang dan diameter yang berbeda. Untuk mengaktifkan perbedaan tersebut, maka sesudah menulis nomer alat potong (misalnya T1), kemudian diikuti D dengan nomer kompensasi yang dimaksud. Harga kompensasi alat potong disimpan pada parameter *tool correction/ tool compensation data* (lihat gambar di bawah).

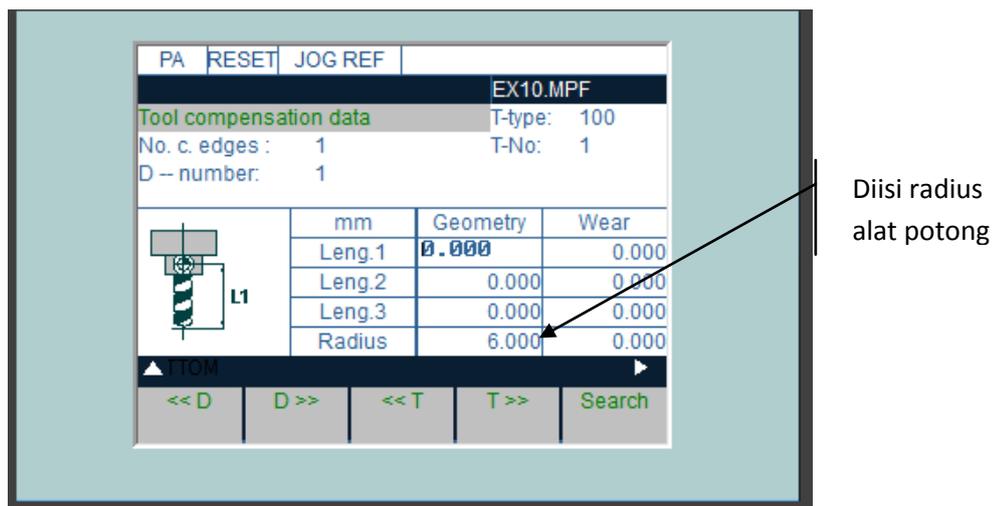
Format :

N....

N... T1 D1; berarti alat potong 1 dengan kompensasi 1

N...

N... T5 D8; berarti alat potong 5 dengan kompensasi 8



Gambar 2.19. Menu pengaturan kompensasi alat potong

5) S, putaran spindle

Untuk mengaktifkan jumlah putaran spindle mesin frais CNC digunakan S diikuti dengan jumlah putaran per menit. Arah putaran spindle mengikuti perintah kode M, yaitu M3 putaran searah jarum jam, dan M4 putaran berlawanan arah jarum jam. Sedangkan perintah M5 putaran spindle berhenti.

Format :

N... M3

N... S1500; berarti putaran spindle searah jarum jam 1500 rpm.

N...

Penentuan harga putaran spindel adalah berdasarkan kecepatan potong benda kerja. Kecepatan potong benda kerja dipengaruhi oleh material alat potong dan material benda kerja. Berikut diberikan contoh putaran spindel untuk alat potong dari HSS dengan berbagai bahan benda kerja yang sering digunakan.

(sumber: <http://www.southbaymachine.com/setups/cuttingspeeds.htm>).

Tabel 2.1. Jumlah putaran spindel dalam Rpm untuk alat potong dari HSS

Material Benda kerja	S (rpm) untuk alat potong HSS dengan diameter				
	6 mm	12 mm	25 mm	40 mm	50 mm
<i>Low-Carbon Steel</i>	1600	800	400	267	200
<i>High-Carbon Steel</i>	960	480	240	160	120
<i>Aluminum</i>	4000	2000	1000	667	500
<i>Brass & Bronze</i>	3200	1600	800	533	400

6) F, gerak makan

Gerak makan F adalah kecepatan pergerakan alat potong yang berupa harga absolut . Harga gerak makan ini berhubungan dengan gerakan interpolasi G1, G2, atau G3 dan tetap aktif sampai harga F baru diaktifkan di program CNC. Satuan untuk F ada dua yaitu mm/menit apabila sebelum harga F ditulis G94, dan mm/putaran apabila ditulis G95 sebelum harga F. Satuan mm/putaran hanya dapat berlaku apabila spindel berputar. Harga satuan F secara *default* yang aktif adalah mm/menit.

Format :

N...

N... G94 F300; berarti harga gerak makan 300 mm/menit

N... M3 S1000

N... G95 F2; berarti gerak makan 2 mm/putaran.

Harga gerak makan (F) dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain: material benda kerja, material alat potong, kedalaman potong, kehalusan permukaan akhir,

bentuk alat potong, dan kondisi pemotongan yang digunakan. Berikut disampaikan tabel gerak makan (F) sebagai harga pendekatan gerak makan.

Tabel 2.2. Gerak makan (F) untuk berbagai kedalaman potong dan material benda kerja untuk beberapa diameter alat potong (*End Mill*)

Material Benda kerja	Kedalaman potong 0,05" (1,25 mm)			Kedalaman potong 0,25" (6 mm)	
	Diameter alat potong				
	3 mm	10 mm	12,5 mm	10 mm	18 mm
<i>Plain Carbon Steels</i>	0,0012-0,025	0,050-0,075	0,075-0,1	0,025-0,050	0,050-0,1
<i>High Carbon Steel</i>	.0003-0,025	0,025-0,075	0,050-0,1	.0003-0,025	0,025-0,1
<i>Tool Steel</i>	0,0012-0,025	0,025-0,075	0,050-0,1	0,025-0,050	0,075-0,1
<i>Cast Aluminum Alloy</i>	0,050	0,075	0,125	0,075	0,2
<i>Cast Aluminum -Hard</i>	0,025	0,075	0,125	0,075	0,150
<i>Brasses & Bronzes</i>	0,0012-0,025	0,075-0,1	0,1-0,150	0,050-0,075	0,1-0,150
<i>Plastics</i>	0,050	0,1	0,125	0,075	0,2

Catatan: harga gerak makan adalah mm/gigi, sehingga harga gerak makan untuk alat potong harus dikalikan jumlah sisi potong (gigi).

Harga F = harga F tabel x jumlah sisi potong x S

7) G0, gerak cepat lurus

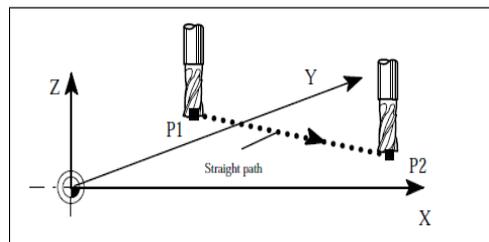
G0 berfungsi untuk menempatkan (memposisikan) alat potong secara cepat dan tidak menyayat benda kerja. Semua sumbu bisa bergerak secara bersama (simultan), sehingga menghasilkan jalur lurus (lihat gambar di samping). Perintah G0 akan selalu aktif sebelum dibatalkan oleh perintah dari kelompok yang sama, misalnya G1, G2, atau G3.

Format :

N...

N... G0 X-15 Y-15 Z15; gerak cepat aktif menuju koordinat yg ditulis

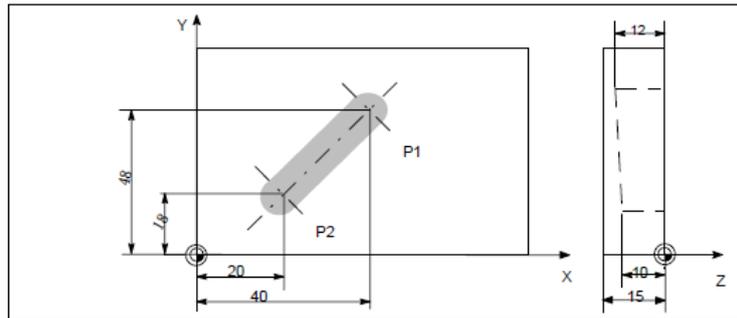
N...



Gambar 2.20. Gerak cepat lurus G0

8) G1, gerak interpolasi lurus dengan gerak makan tertentu

Fungsi dari perintah G1 adalah menggerakkan alat potong dari titik awal menuju titik akhir dengan gerakan lurus. Kecepatan gerak makan ditentukan dengan F. Semua sumbu dapat bergerak bersama untuk menuju titik yang diprogramkan (lihat gambar di bawah). Perintah G1 tetap aktif sebelum dibatalkan oleh perintah dari kelompok yang sama (G0, G2, atau G3).



Gambar 2.21. Gerak interpolasi lurus

Format :

N... G0 X20 Y40 Z2

N... G1 Z-10 F20 ; berarti alat potong bergerak lurus menuju Z-10

N... G1 X40 Y48 Z-12 ; berarti alat potong bergerak lurus menuju (40,48,-12)

N...

9) G2 dan G3, gerak interpolasi melingkar

Perintah G2 atau G3 berfungsi untuk menggerakkan alat potong dari titik awal ke titik akhir mengikuti gerakan melingkar. Arah gerakan ada dua macam yaitu G2 untuk gerakan searah jarum jam, dan G3 untuk berlawanan arah jarum jam (lihat gambar di bawah). Gerak makan alat potong menurut F yang diprogram pada baris sebelumnya.

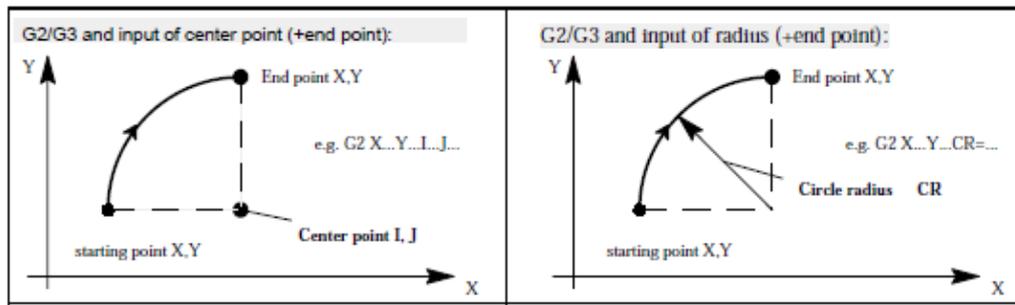
Format :

N...

N... G2 X... Y... I5 J-1; bergerak melingkar ke (X,Y) dengan titik pusat di (5,-1) dari titik awal gerak alat potong

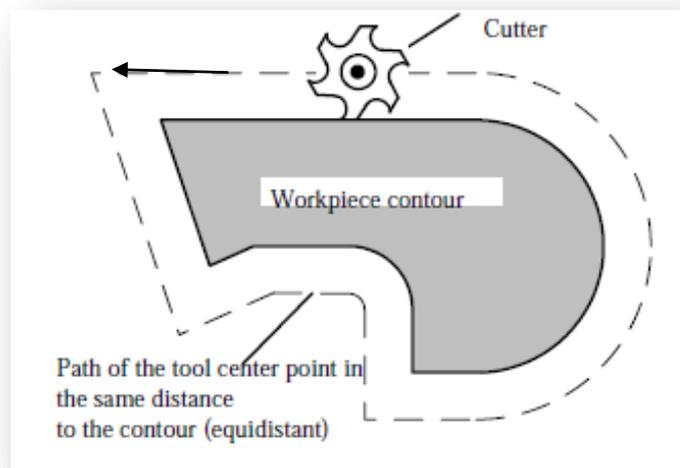
N... G2 X... Y...CR=10; bergerak melingkar ke (X,Y) dengan radius 10

N...



Gambar 2.22. Gerak interpolasi melingkar

10) G41, G42, G40, kompensasi alat potong kiri dan kanan



Gambar 2.23. Kompensasi radius alat potong

Kompensasi radius alat potong akan aktif apabila ditulis G41/G42. G41 adalah kompensasi radius kiri, sedangkan G42 adalah kompensasi radius kanan. G40 adalah membatalkan kompensasi radius atau tanpa kompensasi. Kompensasi radius kanan adalah apabila alat potong bergeser ke bagian kanan garis kontur yang dipotong sejauh radius alat potong (lihat gambar di samping). Untuk mengidentifikasi arah kompensasi, maka pandangan kita searah dengan arah pemotongan. Kompensasi radius kiri adalah apabila alat potong bergeser ke bagian kiri garis kontur yang dipotong sejauh radius alat potong.

Format :

N... G0 X... Y... Z...

N... G42 ; berarti kompensasi radius alat potong kanan diaktifkan

N... G1 X... Y...

N...

N... G40 ; berarti kompensasi dibatalkan

11) M2, M3, M4, M5, M6, M8, M9, fungsi tambahan

Kode M ini adalah kode untuk fungsi tambahan. Arti beberapa kode M tersebut adalah :

M2 = program berakhir

M3 = spindel ON dengan putaran searah jarum jam

M4 = spindel ON dengan putaran berlawanan arah jarum jam

M5 = spindel OFF

M6 = ganti alat potong

M8 = coolant ON

M9 = coolant OFF

M30= program selesai.

Format :

N... G54 T1 S2000 F100

N... M3 ; berarti spindel putar arah kanan

N...

N... T2

N... M6 ; berarti ganti alat potong menjadi T2

N... M5 ; berarti spindel OFF

N... M2 ; program berakhir

Catatan:

Kode program G0, G01, G02, dan G03 berlaku untuk semua sistem kontrol mesin perkakas CNC. Demikian juga kode M2, M3, M4, M5, M8, M9, M30 juga berlaku untuk sebagian besar mesin perkakas CNC. Program siklus diatur tersendiri oleh produsen sistem kontrol sesuai dengan jenis sistem kontrol yang digunakan. Pada pembuatan program CNC dengan menggunakan perangkat lunak Cadcam (misal Mastercam) kode program yang dihasilkan adalah kode G dan kode M yang berlaku untuk semua mesin perkakas CNC. Sub bab berikut dipaparkan mengenai panel kontrol dan kode G yang digunakan oleh sinumerik, Fanuc dan GSK.

2) Panel kontrol mesin frais CNC Fanuc OiM

Pada dasarnya kontrol panel pada sistem kontrol Fanuc OiM ini sama dengan sistem kontrol pada mesin CNC yang lain yaitu terdiri dari kelompok tombol pengoperasian CNC dan pengoperasian mesin.



Gambar 2.26. Panel kontrol mesin Frais CNC Fanuc OiM

Kode G mesin frais CNC yang digunakan untuk pembuatan program CNC dengan menggunakan Fanuc OiM adalah sebagai berikut.

Tabel 2.3. Kode G untuk mesin frais CNC dengan sistem kontrol Fanuc OiM

Kode G	Fungsi
G00	Gerak cepat (pemosisian)
G01	Interpolasi lurus
G02	Interpolasi melingkar searah jarum jam
G03	Interpolasi melingkar berlawanan arah jarum jam
G04	Berhenti sementara (dwell)
G15/G16	Perintah koordinat polar
G17	Penentuan bidang kerja Xp Yp
G18	Penentuan bidang kerja Zp Xp
G19	Penentuan bidang kerja Yp Zp
G28	Kembali ke titik referensi

G40	Kompensasi radius alat potong batal
G41	Kompensasi alat potong arah kiri
G42	Kompensasi alat potong arah kanan
G53	Sistem Koordinat Mesin (MCS)
G54	Sistem koordinat benda kerja ke satu
G55	Sistem koordinat benda kerja ke dua
G56	Sistem koordinat benda kerja ke tiga
G57	Sistem koordinat benda kerja ke empat
G58	Sistem koordinat benda kerja ke lima
G59	Sistem koordinat benda kerja ke enam
G73	<i>Peck drilling cycle</i>
G74	<i>Left-spiral cutting cycle</i>
G76	<i>Fine Boring Cycle</i>
G80	Pembatalan program siklus
G81	Siklus drilling, siklus spot boring
G82	Siklus drilling atau siklus conuter boring
G83	<i>Peck drilling cycle</i>
G84	Siklus pengetapan (pembuatan ulir dengan tap)
G85	Siklus boring
G86	Siklus boring
G87	Siklus <i>back boring</i>
G88	Siklus boring
G89	Siklus boring
G90	Perintah sistem kordinat absolut (<i>default</i>)
G91	Perintah sistem koordinat inkremental
G92	Pengaturan sisitem koordinat benda kerja (WCS)
G98	Kembali ke posisi awal untuk suatu siklus
G99	Kembali ke titik referensi (R)
G50, G51	Perintah skala
G68, G69	Pemutaran koordinat/ konversi koordinat tiga dimensi

Tabel 2.4. Kode G untuk mesin bubut CNC dengan sistem kontrol Fanuc OiM

Kode G	Fungsi
G00	Gerak cepat (pemosisian)
G01	Interpolasi lurus
G02	Interpolasi melingkar searah jarum jam
G03	Interpolasi melingkar berlawanan arah jarum jam
G04	Berhenti sementara (<i>dwell</i>)
G09	Berhenti (<i>exact stop</i>)
G20	Satuan inchi
G21	Satuan mm
G22	
G23	
G27	Cek posisi titik referensi
G28	Kembali ke titik referensi
G29	Kembali dari titik referensi
G30	Kembali ke titik referensi ke dua
G32	Penyayatan ulir
G40	Pembatalan kompensasi panjang pahat
G41	Kompensasi pahat arah kiri
G42	Kompensasi pahat arah kanan
G50, G51	Perintah skala
G52	Seting koordinat inkremental

G53	Sistem koordinat mesin
G70	Siklus pemesinan finishing
G71	Siklus penyayatan pengasaran diameter luar/dalam
G72	<i>Step rough cutting cycle</i>
G73	<i>Pattern repeating</i>
G74	<i>Peck drilling cycle sumbu Z</i>
G75	Siklus pengaluran pada sumbu X
G76	Siklus penguliran
G80	Pembatalan siklus
G83	<i>Peck drilling cycle</i>
G84	Siklus pengetapan
G85	Siklus boring
G87	<i>Back boring cycle</i>
G88	<i>Back tapping cycle</i>
G89	<i>Back boring cycle</i>
G90	Siklus penyayatan A
G92	Siklus pembuatan ulir
G94	Siklus penyayatan B
G96	Kecepatan potong konstan
G97	Pembatalan kecepatan potong konstan/ putaran spindel konstan
G98	Gerak makan per menit
G98	Gerak makan per putaran

F. Panel kontrol mesin bubut dengan GSK 928 TE/TC/TEII



Gambar 2.27. Panel kontrol mesin Frais CNC GSK 928 TE

Tabel 2.5. Kode G, fungsi, dan format program

Kode	Fungsi	Modal	format program	Catatan
G00	Gerak cepat	Status awal	G00 X(U)Z(W)	
G01	Interpolasi (gerak) lurus	*	G01 X(U) Z(W) F	F:5-6000 mm /min
G02	Interpolasi melingkar searah jarum jam (CW)	*	G02 X(U) Z(W) R F G02 X(U) Z(W)I K F	F:5-3000 mm /min
G03	Interpolasi melingkar berlawanan arah jarum jam (CCW)	*	G03 X(U) Z(W)R F G03 X(U) Z(W)I K F	F:5-3000 mm /min
G33	Penyayatan ulir	*	G33 X(U) Z(W) P(E) I K	
G32	Siklus pengetapan		G32 Z P(E)	
G90	Siklus pembubutan muka	*	G90 X(U) Z(W) R F	
G92	Siklus penguliran	*	G92 X(U) Z(W) P(E) L I K R	
G94	Siklus pembubutan muka tirus	*	G94 X(U) Z(W) R F	
G74	Siklus pembuatan lubang dalam		G74 X(U) Z(W) I K E F	
G75	Siklus pengaluran		G75 X(U) Z(W) I K E F	
G71	Siklus pembubutan pengasaran (<i>roughing</i>) luar		G71 X I K F L	
G72	Siklus pembubutan muka pengasaran (<i>roughing</i>)		G72 Z I K F L	
G22	Part cycle start		G22 L	
G80	Part cycle end		G80	
G50	Sistem koordinat benda kerja absolut		G50 X Z	
G26	Gerak menuju titik referensi pada arah X,Z		G26	Bergerak dengan G00
G27	Gerak menuju titik referensi pada arah X		G27	Bergerak dengan G00
G29	Gerak menuju titik referensi pada arah Z		G29	Bergerak dengan G00
G04	Berhenti sebentar		G04 D	
G93	System offset			
G98	Gerak makan per menit	*	G98 F	
G99	Gerak makan per putaran		G99 F	

G. Panel kontrol mesin frais CNC GSK 983

Kode G yang digunakan oleh sistem kontrol ini sama dengan yang digunakan pada mesin frais CNC dengan sistem kontrol Fanuc OiM.



Gambar 2.28. Panel kontrol mesin frais CNC dengan sistem kontrol GSK 983