

BAB II

FORMAT PEMROGRAMAN NC

Terdapat 2 format pemrograman NC yaitu G-code (ISO 6983) & STEP-NC (ISO 14649), untuk penjelasan dari kedua format tersebut dapat dilihat pada sub bab berikut ini.

2.1. ISO 6983 (*Numerical Control of Machine-Program Data Format And Definition of Address Words*).^[7]

Standar ini merupakan standar untuk proses CAM atau manufaktur, yang berisi informasi tentang instruksi yang harus dilakukan oleh mesin CNC dalam membuat suatu benda atau produk. Standar ini lebih dikenal sebagai “G & M Code” karena didalam pemrograman kode diawali oleh kedua huruf tersebut. Struktur bahasa pemrogramannya lebih terfokus pada lintasan-lintasan dari titik pusat pahat (*tool center path*) dari pada proses pemesinannya. Dikarenakan terbatasnya kemampuan standar ini banyak vendor yang membuat mesin CNC menggunakan bahasa tambahan yang tidak tercakup dalam G-code (ISO 6983).

Kode perintah untuk menggerakkan fungsi-fungsi dalam permesinan CNC dapat dikelompokkan sebagai berikut

Code	Fungsi
G	<i>Preparatory Word</i>
X, Y, Z, U, V, W, P, Q, R, A, B, C	<i>Dimension word</i>
I, J, K	<i>Interpolation or thread lead word</i>
F, E	<i>Feed function word</i>
T, D	<i>Tool function word</i>
M	<i>Miscellaneous function word</i>
S	<i>Spindle speed function word</i>

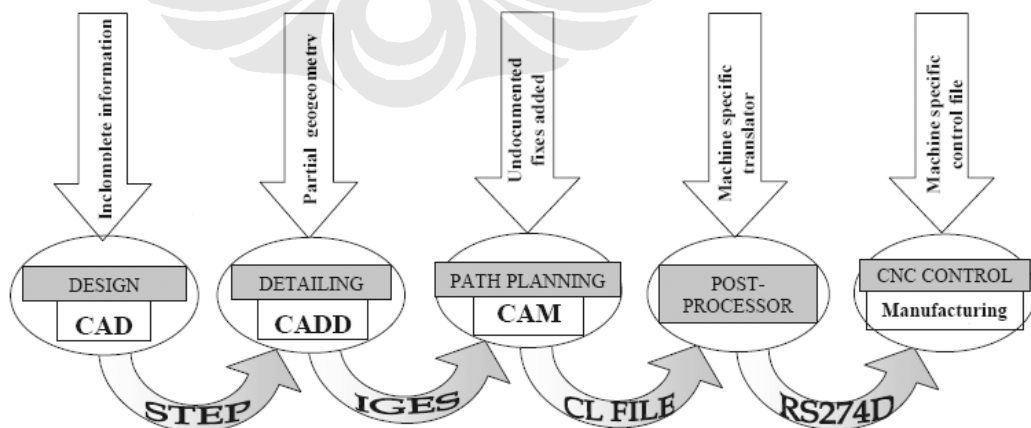
Tabel 2.1 G & M Code CNC FANUC 18i -TB

G-Code	Function	G-Code	Function
G 00	<i>Rapid traverse</i>	G 01	<i>Linear interpolation</i>

G 02	<i>Circular interpolation CW</i>	G 03	<i>Circular interpolation CCW</i>
G 04	<i>Dwell</i>	G 91	<i>Incremental value programming</i>
G 90	<i>Absolute value programming</i>	G 96	<i>Constant surface speed control</i>
G 20	<i>Inch data input</i>	G 21	<i>Metric data input</i>
G 94	<i>Feed per minute</i>	G 95	<i>Feed per revolution</i>

M-code	Function
M 00	Program stop (<i>the spindle and coolant are also stopped</i>)
M 03	<i>Normal spindle rotation (CW)</i>
M 04	<i>Reverse spindle rotation (CCW)</i>
M 05	<i>Spindle stop (stop the turning spindle or the milling spindle)</i>
M 06	<i>Tool change command</i>
M 08	<i>Coolant ON</i>
M 09	<i>Coolant OFF</i>
M 30	<i>Program end</i>
M 98	<i>Call sub-program</i>
M 99	<i>End sub-program</i>

Gambar 2.1 menunjukkan bagaimana komunikasi data yang dilakukan sehingga dihasilkan data G-Code yang diperlukan oleh kontroler CNC.



Gambar 2.1 Interface antar CAD dan kontroler CNC^[9]

Aliran data dalam sistem CAD/CAM dan kontroler CNC^[9]:

1. Informasi produk diimport ke dalam sistem CAM. Biasanya data yang diimport adalah permodelan 3D dari sistem CAD.
2. Sistem CAM digunakan untuk menghitung *toolpath* yang digunakan dalam pemotongan material. Programmer CNC hanya mengspesifikasikan operasi pemesinan dan sistem CAM yang membuat *toolpath* nya yang biasanya ditulis dalam bentuk CL data (*cutter location data*) file.
3. *Toolpath* yang sudah dihitung di import ke dalam *postprocessor* yang mengkonversi CL data menjadi NC program yaitu kode mesin spesifik yang diperlukan untuk mengoperasikan mesin NC. Hasil yang diperoleh dari *postprocessor* dapat langsung digunakan oleh kontroler tanpa modifikasi lebih lanjut.
4. NC program yang di tulis dalam bahasa G-Code yang diekspor ke dalam mesin NC dan proses manufaktur dapat dilakukan.

Salah satu bagian penting dalam koneksi data ke mesin CNC adalah *postprocessor*. Penjelasan lebih lanjut mengenai *postprocessor* akan dibahas pada sub bab berikut.

2.1.1 NC *postprocessor*^[10]

NC *postprocessor* mengambil data lokasi pahat dalam bentuk sintak APT dari sistem CAM dan mengembalikannya dalam bentuk kode MCD yang digunakan untuk mengontrol kontroler dari mesin CNC tertentu. NC *postprocessor* melakukan fungsi-fungsi berikut untuk menghasilkan kode NC yang mesin NC tertentu dapat mengartikannya:

1. Membaca data dari CL data yang disiapkan oleh *postprocessor*.
2. Mengkonversi ke dalam sistem koordinat mesin (*machine tool coordinate system*).
3. Mengkonversi ke bentuk absolut dari bentuk inkremental.
4. Memeriksa keterbatasan-keterbatasan pada mesin.
5. Mengembangkan *feedrate* dan *spindle speed*.
6. Mengembangkan perintah pergerakan yang diijinkan untuk mesin yang digunakan atau kontroler yang digunakan.

7. Memberikan pilihan dari jenis interpolasi *linear*, *circular* dan lain sebagainya.
8. Mengeluarkan rekaman kontrol untuk disesuaikan dengan kebutuhan sistem kontrol.
9. Mengeluarkan daftar yang ditampilkan sebagai bantuan untuk programmer.
10. Memeriksa kesalahan perintah.

Sebuah APT *postprocessor* standar memiliki 5 fungsi modul utama yaitu:

a) Fungsi kontrol (*control function*)

Modul ini berhubungan dengan eksekusi dan proses manajemen dari modul yang menyusun *postprocessor*. Fungsi penting dari modul ini memulai *postprocessor* dan mencabangkan setiap informasi data lokasi pahat ke modul yang sesuai berdasarkan jenisnya. Modul kontrol mengulang prosedur ini satu demi satu hingga informasi terakhir diproses dimana setelahnya proses dihentikan dan NC *postprocessor* menghentikan operasi.

b) Fungsi masukan (*input function*)

c) Fungsi pembantu (*auxiliary function*)

Modul ini berhubungan dengan instruksi tanpa gerakan dimana tidak ada pengaruh langsung terhadap operasi dari mesin NC. Modul ini melakukan prosedur tersebut untuk menghidupkan atau mematikan *coolant*, mengatur putaran dari spindel, mengatur pertukaran *tool*, dan memproses kompensasi data ketika terjadi perubahan dari panjang atau radius dari *tool* sehingga *overcut* atau *undercut* ketika pergantian *tool* dapat dikompensasikan. Bahasa *postprocessor* yang umum digunakan yang digunakan dalam modul ini adalah COOLNT', 'SPINDLE', 'LOADTL'.

d) Fungsi gerakan (*motion function*)

Modul ini berhubungan langsung dengan operasi dari mesin NC, modul gerakan berhubungan dengan koordinat transformasi dari part dan aspek dinamik dari *tool*. Program NC yang dihasilkan oleh sistem CAM untuk *part processing*, memutuskan koordinat dalam benda kerja sebagai koordinat standar, dan menghitung jalur pergerakan dari *tool* dimulai dari koordinat standar tadi. Transformasi koordinat 3 dimensi diperlukan dalam operasi

pemesinan dan modul pergerakan melakukan transformasi dimana modul ini mentransformasikan jejak dari kompensasi garis dan kompensasi radius dari *tool* terhadap sistem koordinat dari mesin NC. Sebagai langkah selanjutnya, proses dinamik juga diperlukan untuk tingkat keakuratan proses yang tinggi dengan mengontrol besarnya slip dari *tool* selama proses pemesinan.

e) Fungsi keluaran (*output function*)

Modul ini mengumpulkan semua informasi yang sudah diproses dalam modul gerakan dan modul pembantu dan menghasilkan informasi dalam kode yang diperlukan oleh kontroler mesin NC.

2.2 ISO 14649 (*Industrial Automation System and Integration Physical Device Control – Data Model for Computerized Numerical Control*)

STEP merupakan standar internasional untuk merepresentasikan suatu produk dengan tujuan untuk menyediakan mekanisme untuk memberikan informasi data produk yang lengkap dari awal pembuatannya sampai akhir, yang mencakup informasi tentang nama produk, tanggal pembuatannya, urutan pembuatan dan lain-lain. Format STEP berupa text file dan bersifat parametric (terkait) sehingga bentuk geometri dapat dirubah hanya dengan software pengolah data text sederhana seperti *notepad*, STEP bersifat netral sehingga dapat dipakai atau diolah pada jenis *software* yang berbeda. Dengan keunggulan yang dimiliki maka STEP dikembangkan menjadi STEP-NC dengan menambah data atau informasi manufacturing didalamnya, sehingga tidak dibutuhkan lagi *post processor*.

ISO sebagai badan standar internasional mengeluarkan standar terbaru yaitu ISO 14649 yang lebih dikenal dengan STEP-NC, merupakan program yang berbasis kepada obyek (*object oriented*) serta mengadopsi struktur data pada ISO 10303 yang ditambahkan dengan proses manufaktur, informasi benda kerja, *feature*, proses pemesinan, *strategy* yang digunakan, teknologi (*feeding, speed*) toleransi, *tool* atau alat yang digunakan, informasi tentang material dan propertinya dan banyak lagi parameter-parameter lainnya. Dengan mekanisme seperti ini standar ini memiliki beberapa keunggulan diantaranya:

- a. Tidak terjadi hilangnya suatu data atau informasi karena seluruh data geometri dari STEP digunakan kembali dan hanya ditambahkan data manufakturnya saja.
- b. Bersifat parametric, sehingga aliran data dapat menjadi 2 arah sehingga pemrosesan data lebih mudah dan cepat karena tidak dibutuhkan lagi *post-prosesor*.
- c. Data yang dimilikinya merupakan data yang netral, sehingga sistem dari CAM, *controller* dan mesin masing-masing berdiri terpisah dan independent, sehingga data lebih fleksibel.

Standar ini masih dalam skala lab dan belum dipakai di dunia industri secara luas, namun pelan tapi pasti STEP-NC akan menggeser G & M Codes, karena keuntungan utama dari program ini adalah mampu menekan biaya (*cost*), karena dengan keunggulan yang dimilikinya maka, program ini mampu menekan waktu (*reduction time*) : ^[6]

1. 35 % untuk set up pekerjaan *machining* di mesin.
2. 75 % untuk menyiapkan data di *workshop*.
3. 50 % dalam proses pemesanan.

Untuk memudahkan dalam memahami program ini, maka akan dijelaskan lebih lanjut mengenai bagian-bagian yang menyusunnya, karena standar ini berorientasi objek maka standar disusun menjadi berbagai kelas yang selanjutnya diterangkan secara detil pada masing-masing *part* penyusunnya.

Struktur data ISO 14649 terdiri dari beberapa *part* antara lain :

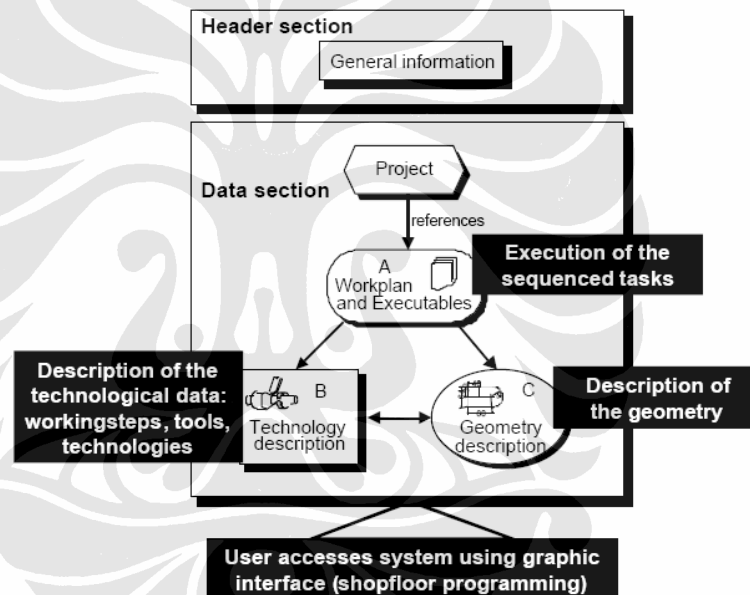
1. Part 1 : *Overview and fundamental principles*
2. Part 2: *Language bindings, Fundamentals*
3. Part 3: *Language binding in Java*
4. Part 9: *Glossary*
5. Part 10: *General Process Data*
6. Part 11: *Process Data for Milling*
7. Part 12: *Process Data for Turning*
8. Part 13: *Process Data for EDM*
9. Part 50: *AIM of General Process Data*
10. Part 51: *AIM of Process Data for Milling*

11. Part 52: *AIM of Process Data for Turning*
12. Part 53: *AIM of Process Data for EDM*
13. Part 111: *Tools for Milling*

Pada saat melakukan konversi tidak semua *part* digunakan, yang digunakan hanya beberapa *part* antara lain: *Part 1 (Overview and fundamental principles)*, *Part 10 (General Process Data)*, *Part 11 (Process Data for Milling)* *Part 111 (Tools for Milling)*.

2.2.1 ISO 14649 : *Part 1 (Overview and fundamental principle)*.^[1]

Part 1 ini membahas tentang pengertian dan konsep standar ISO 14649 secara umum, serta hubungannya dengan standar ISO 10303 dalam proses pertukaran data dan juga susunan atau struktur programnya.



Gambar 2.2 Struktur dan aliran data ISO 14649^[1]

Gambar 2.2 menunjukkan stuktur dan aliran data dari program STEP-NC yang berorientasikan terhadap objek, berdasarkan standar ISO 10303 *part 21 (Implementation Methode: Clear text encoding of exchange structure)*

Struktur ISO 14649 terdiri dari 2 bagian utama yaitu :

1. *Header* : berisikan informasi seperti: nama file, pembuat, waktu pembuatan, dan komentar-komentar yang berhubungan dengan *part* program.

2. Data : merupakan bagian utama karena memberikan informasi data tentang proses manufaktur dan bentuk geometri. Pada bagian data terdiri dari 4 bagian utama yaitu:

- *Project Entity*

Berfungsi sebagai awal dari eksekusi program yang ada pada bagian “DATA” dari sebuah program yang berisi workplan utama yang akan dijalankan.

- *Workplan dan executable*

Workplan adalah rencana kerja yang dilakukan dalam memproses suatu *part* (proses manufakturnya), *workplan* terdiri dari beberapa tipe kombinasi fungsi *executables* yaitu:

- *workingstep*
- *NC Function*
- Program Struktur

- *Technology description*

Pada bagian ini tersedia seluruh informasi dan definisi dari semua *workingstep* yang digunakan pada *workplan* termasuk *tool data*, *machine function*, *machining strategy* dan proses data lainnya.

Technology description juga menyediakan informasi tentang:

- *Cutting width* dan *depth*
- Kecepatan spindel
- Toleransi minimum dan maksimum
- *Data tool* yang digunakan (tipe dan dimensinya)

- *Geometry description*

Seluruh bentuk geometri yang dibentuk pada proses manufaktur dengan mengikuti format dari ISO 10303 (STEP).

2.2.2 ISO 14649 : *Part 10 (General process data)* ^[2]

Part 10 ini menjelaskan mengenai hal tentang pemrosesan data pada sistem secara umum untuk semua jenis teknologi seperti *milling*, *turning*, *grinding*, serta hubungannya antara *controller* mesin dengan sistem program.

Selain tentang definisi teknologi yang dipakai terdapat juga informasi mengenai bentuk geometri. Pada penerapannya *part 10* tidak berdiri sendiri, informasi detail tentang teknologi perlu disertakan, oleh karena itu digunakan *part 11* tentang *milling* sebagai *part* pelengkap detail teknologinya.

Dibawah ini adalah data-data entitas yang akan digunakan pada saat proses *mapping round_hole*.

- *Header dan references*

Informasi selalu diawali dengan kata “*HEADER*” dan diakhiri dengan “*ENDSEC*”, karakter inilah yang akan dimanfaatkan dalam proses identifikasi program STEP dalam programming.

Dibawah ini adalah contoh informasi yang ada pada *Header*

```

HEADER;
FILE_DESCRIPTION ();
FILE_NAME(EXAMPLE1);
FILE_SCHEMA();
ENDSEC;
    
```

- *General type and definition*

Menjelaskan tentang satuan yang digunakan, dibawah ini adalah satuan unit yang sering digunakan :

<i>Length_measure</i>	<i>Millimeters</i> [mm]
<i>Time_measure</i>	<i>Second</i> [s]
<i>Plane_angle_measure</i>	<i>Degrees</i> [°]
<i>Pressure_measure</i>	<i>Pascal</i> [Pa]
<i>Speed_measure</i>	<i>Meters per second</i> [m/sec]
<i>Rot_speed_measure</i>	<i>Revolutions per second</i> [1/sec]

Sumber : ISO/DIS 14649-10^[2]

- *Project*

Setiap *part* program mempunyai satu entitas level atas, yaitu yang disebut *project*. *Project* ini merupakan permulaan start dari suatu program.

<i>entitas</i>	<i>atribut</i>					
<i>project</i>	1	2	3	4	5	6

Keterangan :

- (1). *Identifier* : *identifier* dari *project* sebagai pengidentifikasi, oleh karena itu harus unik agar setiap *identifier* tidak sama.
- (2). *Workplan* : *Workplan* dengan level tingkat teratas berada pada entitas ini.
- (3). *Workpiece* : penjelasan tentang benda kerja, diantaranya : material, kondisi permukaan, dan data geometrisnya.
- (4). *Owner (Optional)*: informasi tentang pembuat dari *project*.
- (5). *Releases (Optional)*: referensi tanggal dan waktu dari *project*.
- (6). *Status (Optional)*: Atribut yang mengindikasikan status dari *project*.

▪ *Workpiece*

Adalah benda kerja yang akan dikerjakan dalam proses manufaktur. Entitas ini berisikan informasi seluruh penjelasan tentang benda kerja.

<i>entitas</i>	<i>atribut</i>						
<i>Workpiece</i>	1	2	3	4	5	6	7

Keterangan :

- (1). *Identifier* : *identifier* dari *workpiece* sebagai pengidentifikasi, oleh karena itu harus unik agar setiap *identifier* tidak sama.
- (2). *Material (Optional)*: Atribut ini berisi data tentang material dari benda kerja. Data ini seharusnya digunakan untuk menentukan parameter teknologi dari proses untuk proses pemesinan.
- (3). *Global_tolerance (Optional)*: merupakan toleransi dari benda kerja, data ini digunakan jika toleransi yang lain tidak spesifik.
- (4). *Rawpiece (Optional)*: adalah informasi geometri dari benda kerja mentah.
- (5). *Geometry (Optional)*: adalah informasi tentang geometri dari benda kerja akhir, berdasarkan ISO 10303-514.
- (6). *Bounding_geometry (Optional)*: dengan atribut ini geometri dari benda kerja dapat berupa kotak, silinder, atau geometri lain berdasarkan definisi dari entitas *advanced_brep_shape_representation* (ISO 10303--514).

(7). *Clamping_position* : atribut ini menginformasikan posisi alat pencekam pada permukaan benda kerja. Segala atribut lokasi, arah, dan informasi geometris akan didefinisikan relative terhadap sistem koordinat benda kerja.

- *Manufacturing feature*

Dasar dari semua fitur manufaktur, baik dalam bentuk 2.5 D-manufacturing atau berbentuk profile(3D).

- *Machining feature*

Adalah dasar dari semua feature-feature yang ada dalam operasi *two5D_manufacturing_feature* atau *2.5D-machining*, seperti *drilling* dan *pocketing*.

- *Round Hole*

Mendefinisikan fitur yang berbentuk lubang. Untuk fitur *round hole* terdapat beberapa operasi yang dapat dilakukan seperti *drilling*, *multistep drilling*, *countersinking*, *reaming*, *centerdrilling*.

entity	atribut							
<i>Round hole</i>	1	2	3	4	5	6	7	8

Keterangan :

(1). *Identifier* : adalah nama unik dari suatu fitur.

(2). *Workpiece* : adalah benda kerja dimana fitur berada.

(3). *Operation (Optional)*: adalah suatu set operasi yang dilakukan untuk melakukan permesinan suatu fitur.

(4). *Feature placement (Optional)*: adalah letak atau posisi dari fitur relative terhadap koordinat sistem benda kerja. Posisi dapat berupa translasi dan/atau rotasi dari origin koordinat benda kerja.

(5). *Depth* : adalah tinggi kedalaman suatu fitur yang dipresentasikan dalam bentuk bidang dengan letak titik terendah dari suatu fitur ($z < 0$) diukur dari koordinat sistem.

(6). *Diameter* : diameter lubang

(7). *Change in diameter (Optional)*: optional parameter yang digunakan untuk lubang yang spesifik atau *taper*

(8). *Bottom condition* : adalah bentuk dari dasar sebuah lubang.

- *Executable*

Adalah basis entitas dari seluruh eksekusi objek. Eksekusi suatu objek dapat dibagi menjadi 3 tipe, yaitu:

1. *Workingstep* : mendefinisikan proses manufaktur yang melibatkan interpolasi axis, pada umumnya tiap *workingstep* merupakan sebuah proses manufaktur dengan 1 jenis alat dan strategi, detail informasi dari *workingstep* terdapat pada *technology description*.
2. *NC functions* : mendefinisikan tentang pertukaran informasi, atau tidak melibatkan interpolasi axis.
3. *Program structure* : adalah bangunan program, yang mengatur urutan proses manufaktur, struktur yang paling penting adalah *workplan*, struktur program yang ada tidak selalu bersifat sequensial, tapi bisa juga random, atau paralel.

Pada kasus ini *executable* yang digunakan adalah *workingstep* dengan tipe *machining workingstep*.

- *Machining Workingstep*

Machining workingstep merepresentasikan tentang proses pemesinan pada suatu area spesifik dari suatu benda kerja.

<i>entitas</i>	<i>atribut</i>			
<i>Machining Workingstep</i>	1	2	3	4

Keterangan :

- (1).*Identifier* : *identifier* dari *machining workingstep*, bersifat unik agar setiap *identifier* tidak sama.
- (2).*Its_sec_plane (Optional)*: adalah bidang aman untuk pergerakan *tool* agar tidak terjadi collision. Bidang ini mengacu pada sistem koordinat benda kerja atau pada sistem koordinat fitur.
- (3).*Its_feature(Optional)*: adalah fitur yang akan dioperasikan.
- (4).*Its_operation (Optional)*: adalah tipe operasi yang digunakan.

- *Operation*

Adalah segala sesuatu yang berhubungan dengan pengoperasian pemessinan, diantaranya yaitu :

- Tipe operasi : (terdiri dari *Machining operation*, *rapid movement*, dan *touch probing*.) yang digunakan pada kasus ini adalah *machining operation*.
- *Technology*.
- *Machine function*.

Seluruh informasi dalam *part 10* ini merupakan *supertype* sehingga informasi masih bersifat umum maka diperlukan *part* yang lebih spesifik yang membahas tentang permesinan *milling* yaitu ISO 14649 Part 11 : *Process data for milling*.

- *Workplan*

Workplan dapat mengkombinasikan beberapa *workingstep* secara linear.

- *Setup*

Memberikan informasi tentang koordinat benda kerja relatif terhadap koordinat mesin.

2.2.3 ISO 14649 : *Part 11 (Process data for milling)* ^[3]

Pada *part 11* ini merepresentasikan segala informasi yang lebih spesifik tentang pengoperasian, dan data teknologinya secara spesifik untuk proses *milling*. Pada fitur *round_hole*, bagian-bagian utama dari part ini adalah:

- *Milling technology*

Mendefinisikan tentang parameter mesin yang digunakan saat proses secara umum berlangsung, merupakan *subtype* dari *technology* (pada *part 10*).

<i>entitas</i>	atribut								
<i>Milling_Technology</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Keterangan :

- (1).*feedrate (Optional)* : pemakanan dari *tool* yang dideskripsikan dengan kecepatan linier.
- (2).*feedrate_reference (tool reference point)* : menspesifikasikan kecepatan pemakanan yang dihitung berdasarkan *tool center point* atau *cutter contact point*.
- (3).*cut_speed (Optional)*: kecepatan potong dari *tool* yang dideskripsikan dengan kecepatan linier.
- (4).*Spindle (Optional)* : atribut ini memungkinkan untuk pemilihan kecepatan *spindle* konstan atau kecepatan konstan di permukaan.
- (5).*Feedrate_pertooth* : *feed* dari *tool* yang diberikannya adalah jarak
- (6).*Synchronize_spindel_with_feed (Boolean)* : apabila bernilai *true*, kecepatan potong (*cutting speed*) dan pemakanan (*feed*) dari *tool* disesuaikan.
- (7).*Inhibit_feedrate_override (Boolean)* : apabila bernilai *true* maka memasukkan nilai kecepatan pemakanan secara manual oleh panel kontrol tidak diperbolehkan.
- (8).*Inhibit_spindle_override (Boolean)* : apabila bernilai *true* maka memasukkan nilai kecepatan *spindel* secara manual oleh panel kontrol tidak diperbolehkan.
- (9).*Its_adaptive_control (Optional)* : strategi kontrol khusus oleh vendor lainnya.

▪ *Milling machine functions*

Entitas ini merupakan penjelasan spesifik *machine function* yang digunakan dalam proses pemesinan yang merupakan *subtype* dari *machine_function* (pada *part 10*)

<i>entitas</i>	<i>atribut</i>									
<i>Milling machine functions</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Keterangan :

- (1). *coolant* : merupakan pilihan *boolean*, jika *true* maka *coolant* diaktifkan.
- (2). *coolant_pressure* (*Optional*): spesifikasi dari tekanan *coolant* pada sistem.
- (3). *mist* (*Optional*): jika *true* maka aktifkan *mist coolant*. Defaultnya *false*, valid jika status *coolant true*.
- (4). *through_spindle_coolant* (*Boolean*): jika status bernilai *true* maka aktifkan *through spindle coolant*. Nilai defaultnya adalah *false*.
- (5). *through_pressure* (*Optional*): adalah nilai tekanan *coolant through spindle*. Hanya valid jika status *through spindle coolant* adalah *true*.
- (6). *axis_clamping* : menjelaskan sumbu *clamping*, catatan bahwa informasi ini tergantung dari mesin dan sebaiknya dihindari pemakaiannya.
- (7). *chip_removal* (*Boolean*): jika bernilai *true* maka aktifkan *chip removal*.
- (8). *oriented_spindle_stop* (*Optional*): nilai yang diberikan disini untuk memberhentikan spindle sesuai dengan arah yang diberikan dekat dengan posisi nol mesin. *Its_process_model* (*Optional*): informasi opsional mengenai control proses.
- (9). *Other_function* : daftar fungsi lain dari tipe secara umum.

▪ *Drilling_type_operation*

Mendefinisikan parameter mesin saat proses pemesinan berlangsung, operasi pemesinan seperti *drilling*, *reaming*, *center_drilling*, *counter_sinking* dan lain-lain. Merupakan *subtype* dari *milling_machining_operation*.

- *Drilling type strategy*

Mendefinisikan variable-variable parameter mesin yang digunakan pada proses pemesinan agar didapatkan hasil pemesinan yang baik.

<i>entitas</i>	<i>atribut</i>					
<i>Drilling type strategy</i>	1	2	3	4	5	6

Keterangan :

- (1). *Reduced_cut_at_start (Optional)*: mengurangi kecepatan potong (*cutting speed*) sesuai dengan persentase yang ditentukan pada saat pemakanan dimulai.
- (2). *Reduced_feed_at_start (Optional)*: pada saat proses pemakanan dimulai kedalaman pemakanan (*feed*) dikurangi sesuai persentase yang ditentukan.
- (3). *Depth_of_start (Optional)*: kedalaman yang digunakan saat start.
- (4). *Reduced_cut_at_end (Optional)*: mengurangi kecepatan potong (*cutting speed*) berdasarkan persentase yang ditentukan, pada saat pemotongan terakhir.
- (5). *Reduced_feed_at_end (Optional)*: mengurangi kedalaman pemotongan (*feed*) berdasarkan persentase yang ditentukan, pada saat pemotongan terakhir.
- (6). *Depth_of_end (Optional)*: kedalaman yang digunakan saat pemotongan terakhir.

- *Multistep drilling* (Proses pengeboran untuk lubang yang dalam).

<i>entitas</i>	<i>atribut</i>									
<i>Multistep drilling</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18		

Keterangan:

- (1). *Its_toolpath (Optional)*: merupakan daftar seluruh *toolpath* yang digunakan.

- (2). *Its_tool_direction (Optional)*: adalah spesifikasi dari orientasi *tool* yang digunakan
- (3). *Its_id*: nama identitas yang unik.
- (4). *Retract_plane (Optional)*: adalah bidang aman pergerakan *tool* dari titik akhir kembali ke titik awal.
- (5). *Start_point (Optional)*: adalah titik awal melakukan proses pemakanan, spesifik pada titik pusat tool pada bidang xz.
- (6). *Its_tool* : adalah *tool* yang digunakan pada saat melakukan operasi
- (7). *Its_technology (Optional)*: adalah parameter *technology* yang dipakai, seperti : *spindle speed* dan pemakanan oleh *tool*.
- (8). *Its_machine_functions*: informasi mengenai *machine function*, seperti : *coolant, chip removal*, dll.
- (9). *Overcut_length (Optional)*: adalah langkah lebih pada saat pemakanan di daerah terbuka.
- (10). *Cutting_depth (length measure)* : atribut yang melambangkan ketebalan yang harus dihilangkan dalam satu kali pemakanan.:
- (11). *Previous_diameter* : memberikan informasi diameter lubang yang sudah ada atau lubang hasil casting, apabila ingin diproses kembali.
- (12). *Dwell_time_bottom* : memungkinkan tool berhenti didasar berdasarkan waktu.
- (13). *Feed_on_retract* : feed yang digunakan untuk menarik mundur *tool* ke *retract_plane* sebagai rasio *feed* dari *drilling*. Apabila tidak disebutkan yang digunakan sama dengan *feed* dari *drilling*.
- (14). *Its_machining_strategy* adalah tipe *strategy* yang digunakan pada saat melakukan proses.
- (15). *Retract_distance* : apabila *retract_distance* bernilai positive, *tool* bergerak mundur sesuai dengan nilai tersebut. Apabila nol (0) atau negative *tool* bergerak antara kedalaman pemakanan bertahap.
- (16). *Firts_depth* : kedalaman pemakanan awal.
- (17). *Depth_of_step* : kedalaman pemakanan selanjutnya secara bertahap sampai kedalaman lubang tercapai.

(18). *Dwell_time_step* : memungkinkan *tool* berhenti antara pemakanan bertahap ke pemakanan bertahap lainnya.

- *Drilling*

Proses pembuatan lubang dengan kedalaman tertentu.

<i>entitas</i>	<i>atribut</i>									
<i>Drilling</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14						

Keterangan:

- (1). *Its_toolpath (Optional)*: merupakan daftar seluruh *toolpath* yang digunakan.
- (2). *Its_tool_direction (Optional)*: adalah spesifikasi dari orientasi *tool* yang digunakan
- (3). *Its_id*: nama identitas yang unik.
- (4). *Retract_plane (Optional)*: adalah bidang aman pergerakan *tool* dari titik akhir kembali ke titik awal.
- (5). *Start_point (Optional)*: adalah titik awal melakukan proses pemakanan, spesifik pada titik pusat *tool* pada bidang *xz*.
- (6). *Its_tool* : adalah *tool* yang digunakan pada saat melakukan operasi
- (7). *Its_technology (Optional)*: adalah parameter *technology* yang dipakai, seperti : *spindle speed* dan pemakanan oleh *tool*.
- (8). *Its_machine_functions*: informasi mengenai *machine function*, seperti : *coolant, chip removal, dll*.
- (9). *Overcut_length (Optional)*: adalah langkah lebih pada saat pemakanan di daerah terbuka.
- (10). *Cutting_depth (length measure)* : atribut yang melambangkan ketebalan yang harus dihilangkan dalam satu kali pemakanan.:
- (11). *Previous_diameter* : memberikan informasi diameter lubang yang sudah ada atau lubang hasil casting, apabila ingin diproses kembali.
- (12). *Dwell_time_bottom* : memungkinkan *tool* berhenti didasar berdasarkan waktu.

- (13). *Feed_on_retract* : feed yang digunakan untuk menarik mundur *tool* ke *retract_plane* sebagai rasio *feed* dari *drilling*. Apabila tidak disebutkan yang digunakan sama dengan *feed* dari *drilling*.
- (14). *Its_machining_strategy* adalah tipe *strategy* yang digunakan pada saat melakukan proses.

▪ *Reaming*

<i>entitas</i>	<i>atribut</i>									
<i>Reaming</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17			

Keterangan:

- (1). *Its_toolpath* (*Optional*): merupakan daftar seluruh *toolpath* yang digunakan.
- (2). *Its_tool_direction* (*Optional*): adalah spesifikasi dari orientasi *tool* yang digunakan
- (3). *Its_id*: nama identitas yang unik.
- (4). *Retract_plane* (*Optional*): adalah bidang aman pergerakan *tool* dari titik akhir kembali ke titik awal.
- (5). *Start_point* (*Optional*): adalah titik awal melakukan proses pemakanan, spesifik pada titik pusat tool pada bidang xz.
- (6). *Its_tool* : adalah *tool* yang digunakan pada saat melakukan operasi
- (7). *Its_technology* (*Optional*): adalah parameter *technology* yang dipakai, seperti : *spindle speed*.
- (8). *Its_machine_functions*: informasi mengenai *machine function*, seperti : *coolant, chip removal*, dll.
- (9). *Overcut_length* (*Optional*): adalah langkah lebih pada saat pemakanan di daerah terbuka.
- (10). *Cutting_depth* (*length measure*) : atribut yang melambangkan ketebalan yang harus dihilangkan dalam satu kali pemakanan.:
- (11). *Previous_diameter* : memberikan informasi diameter lubang yang sudah ada atau lubang hasil casting, apabila ingin diproses kembali.

- (12). *Dwell_time_bottom* : memungkinkan *tool* berhenti didasar berdasarkan waktu.
- (13). *Feed_on_retract* : *feed* yang digunakan untuk menarik mundur *tool* ke *retract_plane* sebagai rasio dari drilling feed. Apabila tidak disebutkan yang digunakan sama dengan *feed* dari *drilling*.
- (14). *Its_machining_strategy* adalah tipe *strategy* yang digunakan pada saat melakukan proses.
- (15). *Spindel_stop_at_bottom*: memungkinkan spindel berhenti didasar lubang. Jika atribut *oriented_spindel_stop* pada *workingsteps technology* diset.
- (16). *Depth_of_testcut*: kedalaman testcut.
- (17). *Waiting_position*: *tool* bergerak mundur menjauhi benda kerja pada sumbu z, ketika akan mengukur hasil dari pengeboran.

2.2.4 ISO 14649 : Part 111 (Tools for Milling) ^[4]

Part 111 ini menjelaskan tentang type atau jenis *tool* yang digunakan secara detail termasuk geometrinya.

- *Milling cutting tool*

Pada entitas ini dijelaskan mengenai spesifikasi teknologi dari *cutting tool* yang digunakan untuk proses *milling*, entitas ini merupakan *subtype* dari entitas *cutting tool* pada *part 10*.

<i>entitas</i>	<i>atribut</i>					
<i>Milling Cutting Tool</i>	1	2	3	4	5	6

Keterangan :

- (1). *identifier* : merupakan nilai identitas yang unik.
- (2). *Tool_body* : adalah informasi yang menjelaskan jenis dari *cutting tool* yang digunakan beserta karakteristiknya.
- (3). *Cutting_edge* : informasi yang menjelaskan mengenai sisi potong (*cutting edge*) dari *cutting tool*.
- (4). *Overall_assembly_length (Optional)*: adalah nilai panjang total *tool* diukur sepanjang sumbu *tool* agar mencegah collision.

(5).*direction_for_spindle_orientation* (Optional): adalah arah orientasi *spindle*.

(6).*tool_holder_diameter_for_spindle_orientation* (Optional): adalah nilai diameter dari *tool holder*.

▪ *Milling tool body*

Entitas ini merupakan supertipe dari seluruh tipe *tool body* pada proses *milling* merupakan subtype dari entitas *tool_body* pada *part 10*. Pada fitur *round_hole* tipe *tool* yang digunakan adalah:

- *Drill* (*twist_drill*, *spade_drill*)
- *centerdrill*
- *countersink*
- *reamer*

Entitas *twist drill*, *centerdrill*, dan *reamer* memiliki atribut yang sama

entitas	atribut				
<i>Twist drill</i>	1	2	3	4	5

Keterangan :

- (1).*Tool_dimension* : merupakan nilai dimensi tool.
- (2).*Number_of_teeth* (Optional): adalah informasi banyaknya gigi yang dimiliki oleh tool.
- (3).*Hand_of_cut* (Optional): adalah arah pemakanan atau putaran *cutter* didefinisikan dengan *type hand*.
- (4).*coolant_through_tool* (Optional): mendefinisikan apakah *tool body* mempunyai kemampuan *through_the_tool_coolant*. Nilai valid adalah yes atau no [ISO/DIS 13399-3, Table 2].
- (5).*Pilot_length* (Optional): adalah nilai panjang yang diukur dari bagian tip sampai pada daerah mulainya tool turun.

- *Tool dimension*

Entity ini menjelaskan tentang dimensi dari *tool body*.

<i>entity</i>	atribut						
<i>Tool dimension</i>	1	2	3	4	5	6	7

Keterangan :

(1).*diameter* : merupakan nilai diameter tool.

(2).*top_tool_angle (Optional)*: merupakan nilai sudut tool pada bagian *tip*.

(3).*tool_circumference_angle (Optional)*: merupakan nilai sudut *tool* pada bagian *circumferencenya*.

(4).*cutting_edge_length (Optional)*: adalah nilai panjang diukur sepanjang *cutting edge* utama sampai pada bagian *cutting tip*. Nilai panjang tersebut menentukan nilai maksimal dari kedalaman pemakanan.

(5).*edge_radius (Optional)*: merupakan nilai sudut pada tepi tool.

(6).*edge_center_vertical (Optional)*: adalah nilai *offset vertical* terhadap *edge radius*.

(7).*edge_center_horizontal* : adalah nilai *offset horizontal* terhadap *edge radius*.