

## #11

**KONTROL NUMERIK****Materi Pertemuan #11 (Online #9)****Kemampuan Akhir Yang Diharapkan**

Mampu mengidentifikasi kebutuhan otomasi dalam suatu sistem manufaktur/jasa dan mampu menganalisa aspek teknis dan non teknis perancangan sistem otomasi dalam suatu sistem manufaktur/jasa serta mampu membuat simulasi untuk menyelesaikan masalah otomasi terkait kontrol numerik.

**Indikator Penilaian**

Ketepatan dalam mengidentifikasi kebutuhan otomasi dalam suatu sistem manufaktur/jasa dan mampu menganalisa aspek teknis dan non teknis perancangan sistem otomasi dalam suatu sistem manufaktur/jasa serta mampu membuat simulasi untuk menyelesaikan masalah otomasi terkait kontrol numerik.

**11.1. Dasar Teknologi**

Kontrol numerik (*Numerical Control/NC*) adalah suatu bentuk otomasi terprogram dimana gerakan mekanik suatu perkakas mesin atau peralatan yang lain dikendalikan oleh suatu program yang terdiri dari data alpanumerik dalam bentuk kode.

Data alpanumerik dinyatakan sebagai posisi relatif antara kepala kerja (*work-head*) dan benda kerja (*work-part*), juga instruksi lain yang dibutuhkan untuk mengoperasikan mesin.

Kepala kerja adalah perkakas potong atau peralatan pemrosesan yang lain, dan benda kerja adalah obyek yang sedang diproses.

Bila pekerjaan telah selesai, program instruksi dapat dirubah untuk memproses pekerjaan yang baru.

Kemampuan untuk merubah program, membuat NC sesuai dengan produksi rendah dan medium.

Aplikasi NC dapat dibagi dalam dua katagori:

**1) Aplikasi perkakas pemesinan.**

Yaitu aplikasi dalam proses penggurdian, pemfraisan, pembubutan, dan pekerjaan logam yang lain.

**2) Aplikasi perkakas non-pemesinan.**

Yaitu aplikasi dalam proses perakitan, penggambaran (*drafting*), dan inspeksi.

Pengoperasian NC pada dasarnya adalah pengendalian pergerakan kepala kerja relatif terhadap benda kerja.

**11.2. Komponen Dasar Sistem NC**

Sistem NC terdiri dari tiga komponen dasar, yaitu:

### 1) Program Instruksi.

Dalam aplikasi perkakas pemrosesan, fungsi utama program instruksi adalah untuk memposisikan perkakas potong (*cutting tool*) relatif terhadap posisi bendakerja.

Instruksi tambahan pada umumnya meliputi: kecepatan *spindel*, laju hantaran, pemilihan perkakas potong, dan fungsi-fungsi lain.

Program instruksi dalam bentuk kode dapat disimpan dalam pita berlubang (sekarang sudah jarang dipakai), pita magnetik, disket, dan program part dari komputer.

### 2) Unit Kendali Mesin (*Machine Control Unit/MCU*).

Dalam teknologi NC modern, MCU terdiri dari mikrokomputer dan piranti keras kendali yang dapat menyimpan program instruksi dan melaksanakannya dengan mengkonversikan setiap perintah ke dalam aktivitas mekanik peralatan pemrosesan.

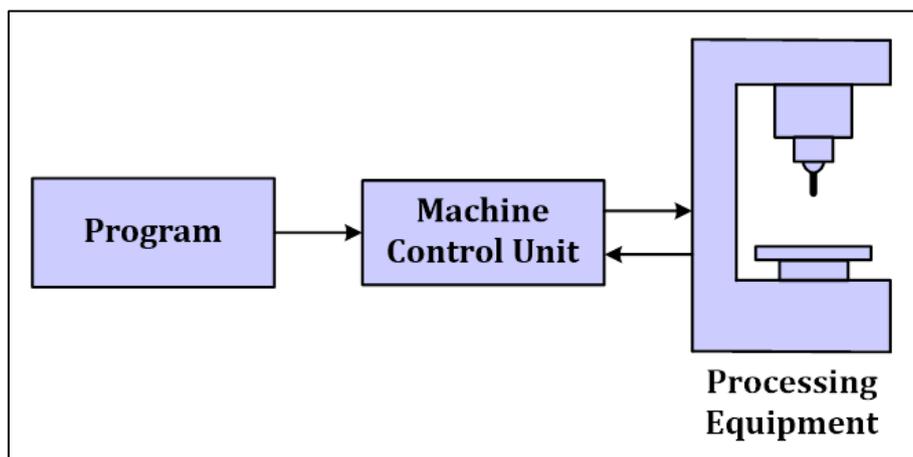
Karena MCU adalah komputer, maka digunakan istilah *computer numerical control* (CNC) untuk membedakan jenis NC ini dengan NC yang biasa (NC yang menggunakan penyimpanan data program instruksi dalam pita berlubang).

### 3) Peralatan Pemrosesan (*Processing Equipment*).

Dalam komponen ini dilaksanakan tahapan perubahan bentuk awal benda kerja ke bentuk yang diinginkan. Operasi ini diarahkan oleh MCU sesuai dengan instruksi yang ada dalam program *part*.

Dalam aplikasi perkakas pemrosesan, peralatan pemrosesan terdiri dari meja kerja, *spindel*, motor, dan pengendali untuk menjalankannya.

Gambar 11.1 merupakan gambar komponen dasar sistem NC.



Gambar 11.1. Komponen Dasar Sistem NC

### 11.3. Sistem Koordinat NC

Untuk memprogram peralatan pemrosesan NC, sistem sumbu standar harus ditentukan untuk memposisikan kepala kerja relatif terhadap benda kerja.

Terdapat dua sistem sumbu yang digunakan dalam NC, dimana keduanya menggunakan sistem Koordinat Cartesian. Kedua sistem sumbu tersebut, yaitu:

### 1) Sistem sumbu untuk benda kerja datar dan prismatic.

Terdiri dari tiga sumbu linear ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ), ditambah tiga sumbu rotasional ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ). Dalam aplikasi perkakas mesin, pada umumnya sumbu  $x$  dan  $y$  digunakan untuk menggerakkan dan memposisikan meja kerja dimana benda kerja ditempatkan, dan sumbu  $z$  digunakan untuk mengendalikan pemrosesan vertikal perkakas potong. Skema pemosisian seperti ini digunakan misalnya pada proses penggurdian dan pelubangan (*punching*) lembaran logam. Sumbu rotasional  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  berturut-turut adalah posisi melingkari sumbu  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ .

Untuk membedakan rotasi positif dengan rotasi negatif, digunakan hukum tangan kanan, yaitu ibu jari menunjuk ke arah sumbu linear positif ( $+x$ ,  $+y$ , dan  $+z$ ), dan lengkungan jari tangan menunjukkan arah rotasi positif.

Sumbu rotasi dapat digunakan untuk salah satu atau kedua-duanya dari operasi berikut ini:

- 1) Mengorientasikan benda kerja untuk pemesinan permukaan yang berbeda.
- 2) Mengorientasikan perkakas atau kepala kerja pada suatu sudut relatif terhadap benda kerja

Pada umumnya perkakas mesin dengan sumbu rotasi memiliki empat atau lima sumbu, yaitu tiga sumbu linear dan satu atau dua sumbu rotasi.

### 2) Sistem sumbu untuk benda kerja rotasional.

Sistem ini berhubungan dengan bubut dan pusat pembubutan NC. Dalam hal ini sumbu  $y$  tidak digunakan. Jalan perkakas potong relatif terhadap benda kerja ditentukan dalam bidang  $x$  dan  $z$ .

Dimana:

- Sumbu  $x$  adalah lokasi radial perkakas, dan
- Sumbu  $z$  paralel terhadap sumbu rotasi benda kerja.

#### 11.4. Titik Nol

Titik nol (*zero point*) adalah titik asal yang merupakan titik pusat sistem koordinat. Seorang programmer harus menentukan posisi perkakas relatif terhadap titik asal sistem koordinat tersebut.

Mesin NC mempunyai dua metode untuk menspesifikasikan titik nol, yaitu:

##### 1) Nol tetap (*fixed zero*)

Titik asal selalu terletak pada posisi sama terhadap meja kerja, umumnya ditempatkan pada sudut kiri depan meja kerja dan semua lokasi perkakas ditentukan oleh koordinat positif  $x$  dan  $y$ .

##### 2) Nol ambang (*floating zero*)

Titik asal dapat ditentukan oleh operator berdasarkan program part yang dikehendaki. Misalnya bila bentuk benda kerja simetris, maka sebaiknya titik nol diletakkan pada pusat simetri, sehingga posisi perkakas dapat ditentukan oleh koordinat positif atau negatif  $x$  dan  $y$ .

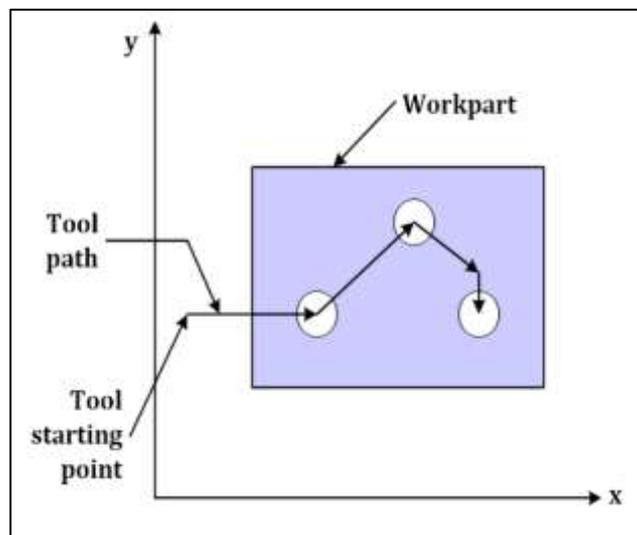
### 11.5. Sistem Kontrol Gerakan NC

Beberapa proses NC dilakukan pada lokasi diskrit benda kerja (misal: penggurdian dan pengelasan titik). Dan yang lainnya, dilakukan selama kepala kerja bergerak (misal: pembubutan dan pengelasan kontiniu).

Sehingga sistem kontrol gerakan untuk NC (dan robot) dapat dibagi dalam dua jenis gerakan:

#### 1) Sistem jalan titik ke titik (*point to point path*)

Disebut juga sistem pemosisian. Dilakukan dengan menggerakkan meja kerja ke suatu lokasi terprogram tanpa memperhatikan jalan yang ditempuh untuk mencapai lokasi tersebut. Bila pergerakan telah selesai, kemudian pemrosesan dilakukan oleh kepala kerja pada lokasi tersebut, seperti pada proses penggurdian dan pelubangan (*punching*). Gambar 11.2 merupakan sistem jalan titik ke titik.



Gambar 10.2. Sistem Jalan Titik Ke Titik

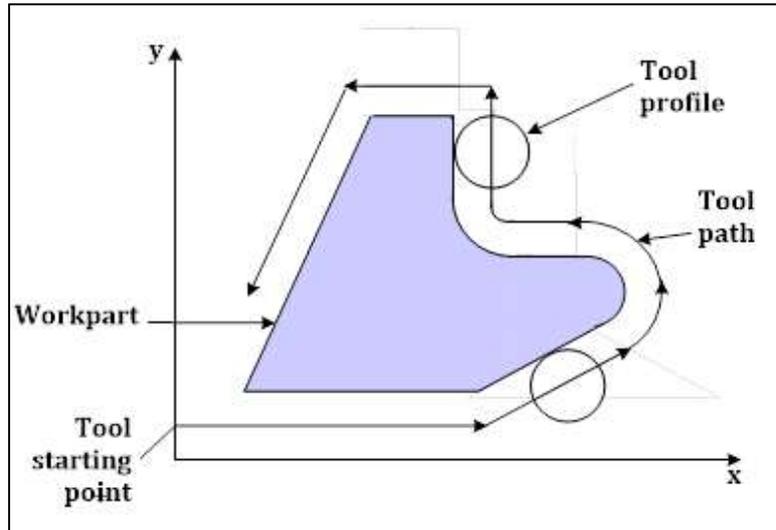
#### 2) Sistem jalan kontiniu (*continuous path*)

Pada umumnya mengacu pada sistem yang mempunyai kemampuan untuk mengendalikan pergerakan secara serentak dan kontiniu pada dua atau lebih sumbu-sumbu koordinat. Dalam hal ini, perkakas melakukan proses pemotongan, sementara meja kerja bergerak mengikuti jalan garis lurus, melingkar, atau jalan kurvilinear yang lain, sehingga dapat dihasilkan permukaan datar, melingkar, kurva dua dimensi, atau kontour tiga dimensi pada benda kerja.

Berdasarkan sistem pergerakan di atas, kontrol jalan kontiniu dapat dibagi atas:

- a) NC potong lurus (*straight-cut NC*).
- b) NC pengkontouran (*contouring NC*).

Model kontrol seperti ini banyak dibutuhkan dalam operasi pemfraisan dan pembubutan. Gambar 11.3 merupakan sistem jalan kontiniu.



**Gambar 10.3. Sistem Jalan Kontiniu**

### 11.6. Metode Interpolasi

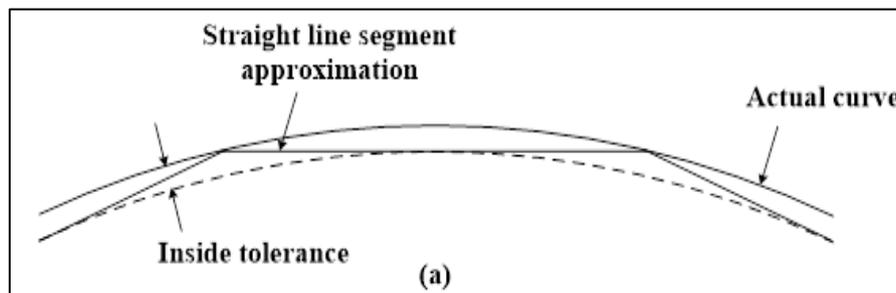
Salah satu aspek penting dalam sistem kontrol numerik jalan kontiniu (pengkontouran) adalah interpolasi. Beberapa pembentukan dapat ditentukan secara matematik dengan rumus geometri yang relatif sederhana (misal: persamaan lingkaran:  $x^2 + y^2 = R^2$ ), tetapi beberapa bentuk yang lain tidak dapat ditentukan secara matematik, jadi harus ditentukan dengan pendekatan.

Pendekatan jalan suatu kurva dengan menggunakan rangkaian segmen garis lurus dalam sistem NC disebut interpolasi. Akurasi pendekatan dikendalikan dengan deviasi maksimum (disebut toleransi) antara kurva nominal (kurva yang diinginkan) dan rangkaian segmen garis lurus yang akan dimesin dengan sistem NC.

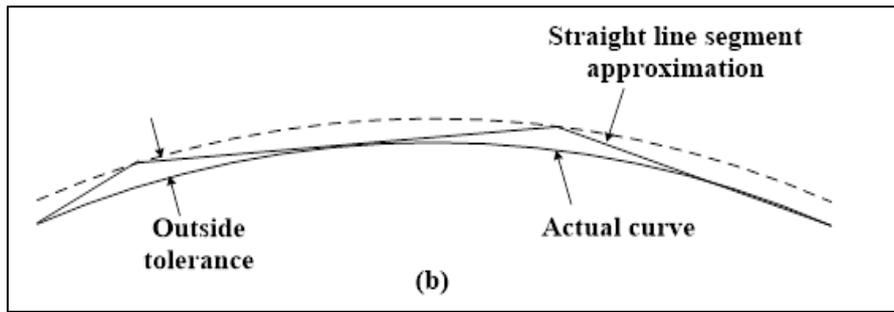
Toleransi dapat ditentukan dengan tiga cara, yaitu:

- toleransi hanya di dalam kurva nominal,
- toleransi hanya di luar kurva nominal,
- toleransi di luar dan di dalam kurva nominal.

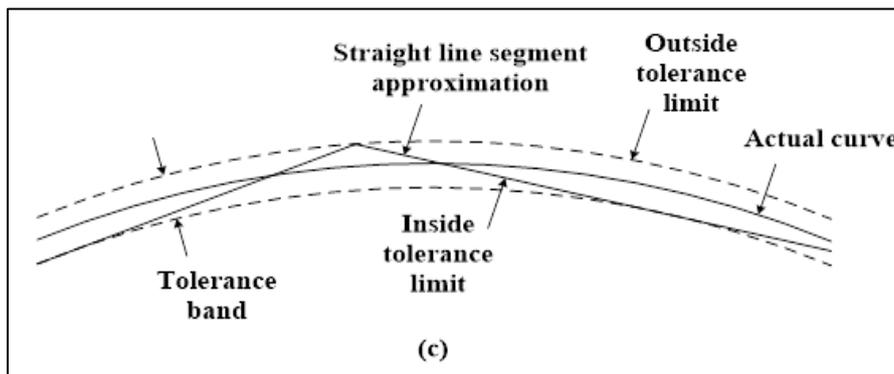
Untuk gambar cara penentuan toleransi dapat dilihat pada Gambar 11.4.a, 11.4.b, dan 11.4.c.



**Gambar 11.4.a. Cara Penentuan Toleransi (Hanya di Dalam Kurva Nominal)**



**Gambar 11.4.b. Cara Penentuan Toleransi (Hanya di Luar Kurva Nominal)**



**Gambar 11.4.c. Cara Penentuan Toleransi (di Luar dan Dalam Kurva Nominal)**

Beberapa jenis metode interpolasi yang sering digunakan dalam pembentukan jalan kontiniu yang halus adalah:

### 1) Interpolasi linear

Merupakan interpolasi paling dasar dan banyak digunakan bila harus dibuat jalan garis lurus dalam NC jalan kontiniu. Dalam praktik interpolasi garis lurus dibagi dua yaitu:

- a) Interpolasi dua sumbu.
- b) Interpolasi tiga sumbu.

Tetapi sesungguhnya kedua interpolasi ini memiliki konsep yang sama.

Programer menspesifikasikan titik awal dan titik akhir garis lurus dan laju hantaran yang akan digunakan sepanjang garis lurus tersebut. Interpolator menghitung laju hantaran setiap dua sumbu (atau tiga sumbu) untuk mencapai laju hantaran yang dispesifikasikan.

### 2) Interpolasi sirkular.

Pemrograman busur sirkular dapat dilakukan dengan menspesifikasikan parameter berikut:

- a) Koordinat titik awal.
- b) Koordinat titik akhir.
- c) Pusat atau jari-jari busur.
- d) Arah pemotong sepanjang busur.

Interpolasi sirkular pada suatu bidang datar dibatasi untuk dua sumbu yaitu sumbu x-y, sumbu x-z, atau sumbu y-z.

### 3) Interpolasi helikal

Merupakan kombinasi antara skema interpolasi sirkular untuk dua sumbu dengan pergerakan linear pada sumbu ke tiga. Jadi jalan helikal merupakan ruang tiga dimensi. Interpolasi helikal diaplikasikan pada proses pemesinan ulir dalam yang besar, baik lurus maupun tirus (runcing).

### 4) Interpolasi parabolic

### 5) Interpolasi kubik

Kedua jenis interpolasi ini (parabolik dan kubik) merupakan kurva bentuk bebas, menggunakan persamaan order persamaan yang lebih tinggi. Pada umumnya membutuhkan daya yang amat komputasional dan tidak seumum interpolasi linear dan sirkular. Aplikasi terbanyak adalah dalam industri ruang angkasa dan otomotif untuk desain bentuk bebas yang tidak dapat secara akurat dan memuaskan bila didekati dengan interpolasi linear dan sirkuler.

## 11.7. Pemosisian

Pemosisian dapat dinyatakan dengan dua cara, yaitu:

- 1) **Pemosisian Absolut (*Absolut Positioning*)**, dinyatakan dengan posisi relatif terhadap titik asal sistem koordinat.
- 2) **Pemosisian Inkremental (*Incremental Positioning*)**, dinyatakan dengan posisi relatif terhadap lokasi perkakas sebelumnya.

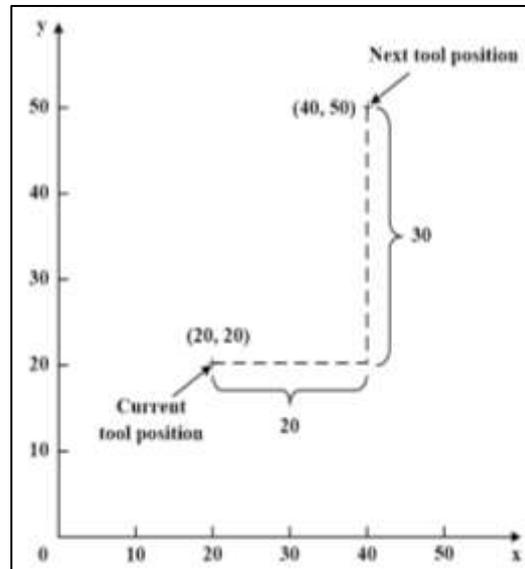
Pada gambar 11.6 dapat diketahui bahwa kepala kerja berada pada titik koordinat  $(x=20, y=20)$  dan kemudian dipindahkan ke titik  $(x=40, y=50)$ .

Dalam pemosisian absolut, pergerakan tersebut dispesifikasikan dengan:

$x = 40$ , dan  
 $y = 50$

Sedangkan dalam pemosisian inkremental pergerakan tersebut di spesifikasikan dengan:

$x = 20$ , dan  
 $y = 30$



Gambar 11.6. Contoh Pemosisian

## 11.8. Computer Numerical Control (CNC)

CNC adalah sistem NC dimana MCU yang digunakan berbasis pada mikrokomputer. Fitur yang standar dari sistem CNC adalah pada MCU-nya, sedang yang lainnya adalah opsional.

Beberapa fitur yang terdapat dalam CNC, antara lain:

**1) Menyimpan lebih dari satu program part.**

Kontroler CNC dapat menyimpan berbagai program dengan kapasitas yang cukup memadai.

**2) Berbagai bentuk program input.**

Kontroler CNC dapat membaca berbagai macam bentuk program input, seperti program pita berlubang, pita magnetik, *floppy disc*, komunikasi RS-232 dengan komputer eksternal, dan data input manual.

**3) Pengeditan program pada perkakas mesin.**

CNC dapat mengedit program part yang ada dalam memori komputer MCU.

**4) Siklus tetap dan subrutin pemrograman.**

Dengan bertambahnya kapasitas memori dan kemampuan untuk pengendaliannya, maka komputer memiliki kesempatan untuk menyimpan data/program yang sering digunakan dalam siklus permesinan, sebagai makro yang dapat dipanggil oleh program part.

**5) Interpolasi**

Interpolasi linear dan sirkular dapat dilakukan dengan mesin NC biasa, sedang untuk sistem interpolasi helikal, parabolik, dan kubik biasanya dilakukan dalam mesin yang memiliki program algoritma (komputerisasi), yaitu CNC.

**6) Fitur-fitur pemosisian untuk *set-up*.**

Pen-*set-up*-an perkakas mesin untuk suatu bendakerja harus dilakukan sedemikian rupa sehingga sumbu-sumbu mesin sesuai dengan posisi bendakerja yang diinginkan.

**7) Kalkulasi percepatan dan perlambatan.**

Fitur ini dibutuhkan bila pemotong bergerak dengan laju hantaran (*feed rate*) yang tinggi. Hal ini didesain untuk menghindarkan terjadinya cacat pada permukaan benda kerja.

MCU pada CNC terdiri dari komponen dan subsistem berikut:

**1) Pusat unit pemrosesan (*central processing unit*/CPU).**

Merupakan otak MCU. Berfungsi untuk mengatur komponen lain dalam MCU berdasarkan piranti lunak (*software*) yang ada dalam memori utama.

**2) Memori.**

Seperti dengan sistem komputer yang lain, memori CNC juga dibagi dalam dua katagori, yaitu:

a) Memori utama.

- Memori utama juga disebut penyimpan primer (*primary storage*) terdiri dari peralatan ROM (*read only memory*) dan RAM (*random access memory*).

- Piranti lunak sistem pengoperasian dan program antar muka mesin disimpan dalam ROM (dilakukan oleh manufaktur MCU).
- Sedangkan program part disimpan dalam peralatan RAM dimana program tersebut dapat dirubah setiap saat.

b) Memori sekunder.

- Memori sekunder memiliki kapasitas yang besar digunakan untuk menyimpan program yang besar dan arsip data, dan ditransfer ke memori utama sesuai dengan kebutuhan.
- Memori sekunder dapat berupa *floppy disc* atau *hard disc*.

**3) Antarmuka I/O (I/O interface).**

Berfungsi untuk menyiapkan komunikasi antara berbagai komponen sistem CNC, sistem komputer yang lain, dan operator mesin. Berfungsi sebagai pengirim dan penerima data serta signal ke dan dari peralatan eksternal. Terdiri dari panel operator (misal peralatan *display*, *keyboard*, dsb.) dan pembaca pita (*tape reader*).

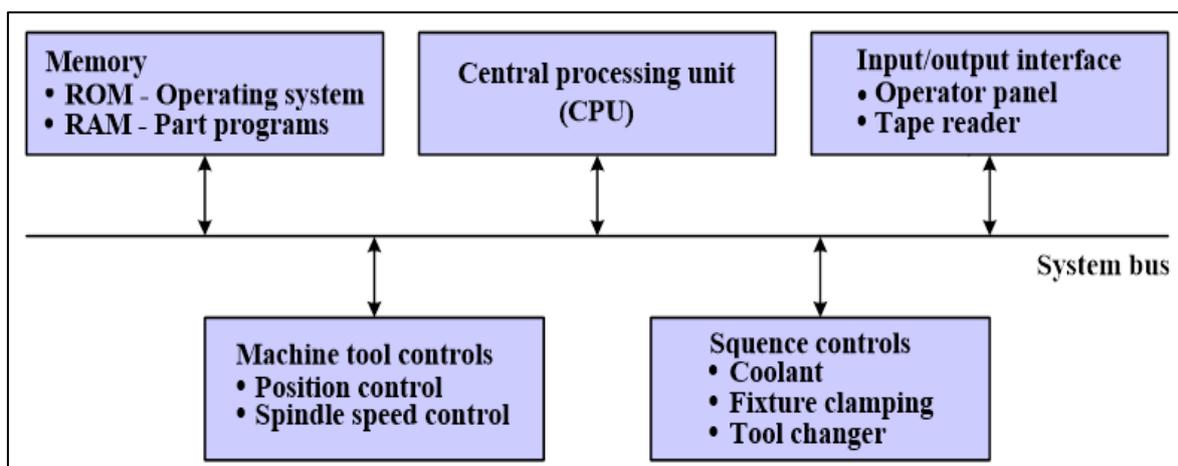
**4) Kontrol untuk sumbu perkakas mesin dan kecepatan *spindel*.**

Atau *Control for Machine Tool Axes and Spindle Speed*. Merupakan komponen piranti keras yang mengendalikan posisi dan kecepatan (*feed rate*) setiap sumbu mesin, dan juga kecepatan rotasi spindel perkakas mesin. Signal yang dihasilkan oleh MCU harus dikoversikan ke daya (listrik) untuk menjalankan aktuator sistem pengendali posisi.

**5) Kontrol urutan untuk fungsi perkakas mesin yang lain.**

Atau *Sequence Controls for Other Machine Tool Functions*. Sebagai kontrol tambahan posisi meja, laju hantaran, dan kecepatan spindel. Beberapa fungsi tambahan dapat dilaksanakan dibawah kontrol program part, misalnya pengendalian sistem pendingin, pengendalian penggantian perkakas, pengendalian pengencang penjepit, peringatan bahaya/*emergency*, pengatur waktu (*timer*), dan sebagainya.

Pada Gambar 11.7 dapat diketahui komponen dan subsistem dari MCU pada CNC.



**Gambar 11.7. Komponen dan Subsistem Dari MCU Pada CNC**

Beberapa keuntungan penggunaan NC dalam jumlah produksi kecil, antara lain:

**1) Mengurangi waktu non-produktif.**

Penggunaan NC dapat memperpendek waktu *set-up*, waktu penanganan benda kerja, pada beberapa mesin penggantian perkakas dapat dilakukan secara otomatis, dan sebagainya.

**2) Mengurangi pekerjaan pengencangan (*fixturing*).**

NC membutuhkan pekerjaan pengencangan yang lebih sederhana dibandingkan dengan menggunakan alat bantu, karena pemosisian part dilakukan dengan program NC.

**3) Mengurangi waktu pengerjaan (*reduce lead time*).**

Pekerjaan dapat di *set-up* lebih cepat dengan NC.

**4) Fleksibilitas manufaktur lebih besar.**

NC dapat menyesuaikan lebih baik terhadap perubahan pekerjaan, jadwal produksi, dan sebagainya.

**5) Penyesuaian terhadap perubahan desain tektik pada benda-kerja lebih mudah.**

Perubahan sistem pengencangan yang rumit dapat dilakukan dengan merubah program NC.

**6) Memperbaiki akurasi dan mengurangi kesalahan manusia.**

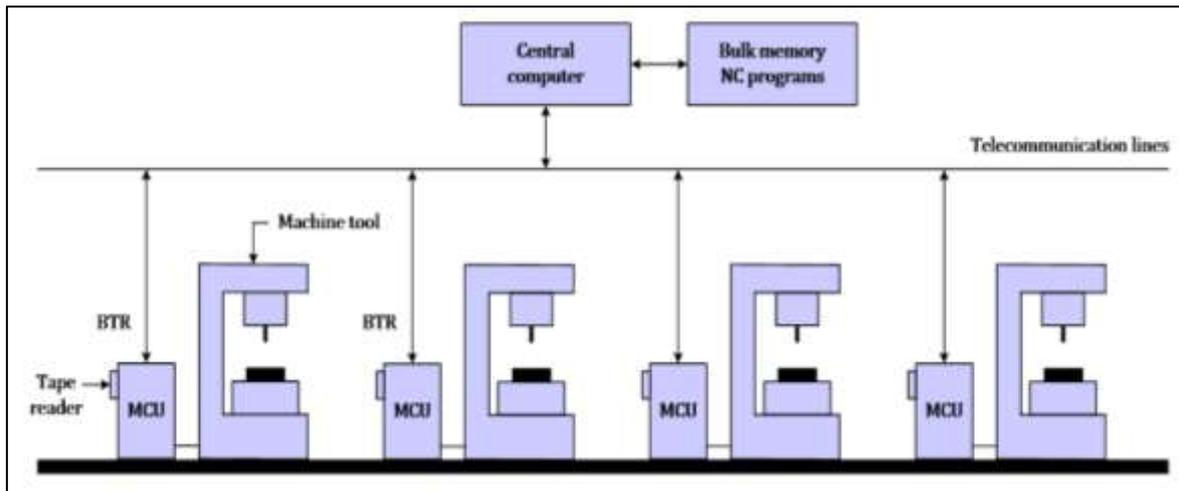
NC sangat sesuai digunakan untuk mengerjakan part yang rumit dimana kemungkinan kesalahan manusia sangat tinggi.

Sedangkan untuk karakteristik pekerjaan dengan NC, antara lain:

- 1) Part yang dikerjakan sering dan dalam jumlah kecil hingga medium.
- 2) Geometri part rumit.
- 3) Part yang dikerjakan memerlukan akurasi yang tinggi.
- 4) Banyak operasi yang harus dilakukan pada part dalam pemrosesannya.
- 5) Banyak membutuhkan pelepasan logam (untuk aplikasi pemesinan).
- 6) Dimungkinkan adanya perubahan desain teknik.
- 7) Part yang dibuat harganya mahal, sehingga kesalahan dalam pemrosesannya akan dapat menyebabkan kerugian besar.
- 8) Part membutuhkan inspeksi 100%.

### 11.9. *Direct Numerical Control* (DNC)

Ditemukan sebelum CNC, yaitu sistem pengendalian sejumlah perkakas mesin NC dengan komputer tunggal (*mainframe*) melalui hubungan langsung. Sebagai pengganti pembaca pita berlubang (*punched tape reader*) untuk memasukkan program part ke MCU, program ditransmisikan langsung dari komputer, setiap saat satu blok instruksi. Model operasi seperti ini disebut *behind the tape reader* (BTR). Gambar 11.8 merupakan konfigurasi *Direct Numerical Control* (DNC).



**Gambar 11.8 Konfigurasi *Direct Numerical Control* (DNC)**

Setelah CNC ditemukan, pengertian DNC menjadi berubah. DNC sekarang merupakan singkatan dari *Distributed Numerical Control*. Konfigurasi DNC baru hampir sama dengan DNC sebelumnya, kecuali komputer pusat (*central computer*) dihubungkan dengan MCU yang juga merupakan komputer. Dalam DNC baru, program part tidak lagi dikirimkan ke MCU berupa satu blok instruksi setiap saat, tetapi dikirimkan berupa program part yang menyeluruh.

### Forum

Tuliskan judul jurnal yang terdapat pada link di pertemuan ini. Selain itu jika terdapat pertanyaan atau apapun yang terkait dengan materi ke-11 serta tugas pertemuan #11 (online #9) dapat juga dituliskan pada Forum ini.

### Link Jurnal

Untuk memahami materi ke 11 ini, silahkan baca jurnal yang terkait dengan pembahasan materi ke-11 yang dapat dilihat pada link berikut.

<https://media.neliti.com/media/publications/200286-optimasi-jalan-pahat-proses-pemesinan-cn.pdf>

### Kuis

Jawab pertanyaan berikut dengan memilih jawaban yang paling sesuai.

1. Interpolasi yang diaplikasikan pada proses pemesinan ulir dalam yang besar, baik lurus maupun tirus (runcing), adalah:
  - a. Interpolasi linear
  - b. Interpolasi sirkular
  - c. Interpolasi helikal
  - d. Interpolasi kubik
  
2. Yang **bukan** merupakan aplikasi perkakas non-pemesinan, adalah:
  - a. Proses perakitan
  - b. Penggambaran

- c. Penggurdian
  - d. Inspeksi
3. Komponen dasar sistem NC yang berfungsi untuk memposisikan perkakas potong relatif terhadap posisi benda kerja, adalah:
- a. Peralatan Pemrosesan
  - b. Unit Kendali Mesin
  - c. Program Instruksi
  - d. MCU
4. Titik asal yang merupakan titik pusat sistem koordinat dalam NC, adalah:
- a. Nol Tetap
  - b. Nol Ambang
  - c. Titik Nol
  - d. Titik Koordinat
5. Komponen MCU yang berfungsi untuk menyiapkan komunikasi antara berbagai komponen sistem CNC, sistem komputer yang lain, dan operator mesin, adalah:
- a. CPU
  - b. Memori eksternal
  - c. I/O Interface
  - d. ROM dan RAM

### Tugas

Jawablah pertanyaan dibawah ini yang bersumber dari jurnal yang ada pada pertemuan ini:

1. Latar belakang dari penelitian tersebut.
2. Tujuan dari penelitian tersebut.
3. Metode yang digunakan pada penelitian tersebut.
4. Hasil dari penelitian tersebut.
5. Manfaat dari hasil penelitian tersebut.

### Daftar Pustaka

- Asfahl C. R, 1995, Robot and Manufacturing Automation, Singapore, John Willey & Sons
- D. Bedworth, M. Hendeerson and P. Wolfe, 1991, Computer Integrated Design, McGraw-Hill
- Frank D. Petruzella, 1996, Industrial Electronics, McGraw-Hill
- Groover, Mikell P., 2001, Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing, Second Edition, New Jersey, Prentice Hall Inc.
- Katsuhiko Ogata, 1995, Teknik Kontrol Automatik, Jakarta, Penerbit Erlangga
- Richard C. Dorf, Andrew Kusiak, 1994, Handbook of Design, Manufacturing and Automation, John Wiley & Soons Inc.
- T. C Chang, R Wysk and H. P Wabng, 1998, Computer Aided Manufacturing Integrated Manufacturing, New Jersey, Prentice Hall Inc.
- Thomas O. Bouchery, 1996, Computer Automation in Manufacturing, Chapman & Hall