

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Pengertian Umum Mesin CNC

Sejak dibuatnya dari mesin NC (*Numerical Control*) di laboratorium mekanisme servo MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) pada tahun 1952, perkembangan teknologi NC menjadi semakin pesat dengan berhasilnya penggunaan komputer mikro sebagai pengendali utama, yang selanjutnya dikenal dengan CNC (*Computer Numerical Control*). Dengan mulai digunakan CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) di beberapa negara industri, telah membawa pengaruh terhadap perkembangan teknologi CNC, karena mesin perkakas CNC merupakan salah satu bagian utama dari sistem CIM.

Pengendalian suatu mesin perkakas dengan menggunakan program yang telah dipersiapkan terlebih dahulu dikenal dengan nama kontrol numerik yang disingkat dengan istilah NC (*Numerical Control*). Menurut EIA (*Electronic Industries Association*), NC didefinisikan Suatu sistem yang aksi kerjanya di kontrol dengan menyisipkan secara langsung data numerik pada beberapa titik. Dalam suatu sistem NC data numerik yang dimaksud diatas merupakan kode-kode dari bilangan, huruf dan simbol. Untuk membuat bentuk tertentu dari benda kerja pada mesin perkakas NC, diperlukan adanya data numerik yang disusun dari bilangan, huruf dan simbol yang selanjutnya dinamakan sebagai *program part*. Pada umumnya *program part* disimpan dalam media berbentuk pita berlubang (*punch tape*), dimana setiap kombinasi dari posisi lubang pada suatu baris menyatakan suatu kode yang tertentu dari bilangan atau huruf atau simbol. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa *program part* adalah suatu himpunan

petunjuk yang dinyatakan secara terperinci langkah yang memberi tahu mesin perkakas mengenai apa yang harus dilakukannya.

2.2. Bagian-bagian Utama Mesin CNC

Mesin perkakas CNC memiliki 3 komponen utama yaitu:

A. Program Part

Program part merupakan masukan dari unit pengendali mesin yang selanjutnya memberikan perintah ke mesin perkakas untuk melakukan aksi kerja sesuai dengan *program part* yang telah dibuat. Pembuatan *program part* merupakan hal yang sangat penting dalam memproduksi suatu benda kerja dengan mesin perkakas CNC. Kualitas benda kerja yang dapat dihasilkan oleh suatu mesin perkakas CNC sangatlah ditentukan oleh *program part*, sebab *program part* terdiri dari informasi sebagai berikut:

- 1) Lintasan relatif antara pahat potong dengan benda kerja
- 2) Kecepatan gerak makan yang harus diberikan oleh mesin perkakas
- 3) Kecepatan potong yang harus diberikan oleh mesin perkakas
- 4) Fungsi-fungsi pembantu, seperti: *spindle* berputar searah atau kebalikan dari putaran jarum jam, *spindle* berputar/berhenti.

B. Unit Pengontrol Mesin

Secara umum, unit pengontrol mesin dapat dikatakan mempunyai 2 bagian utama, yaitu :

- a) Unit pemroses data (*Data Processing Unit*).

Unit pemroses data merupakan bagian dari unit pengontrol mesin yang mengolah informasi dalam bentuk kode-kode tertentu yang diterima dari *paper*

tape reader. Data tersebut kemudian diproses lebih lanjut dan akhirnya menghasilkan informasi yang dikirimkan ke *servo unit* dan *sequence control unit* pada *control loop unit*. Dalam sistem NC *hard wire*, unit pemroses data ini merupakan rangkaian logika (*logic circuits*) *hard wire*. Dan fungsi-fungsi yang dilakukan oleh unit pemroses data adalah :

1. Membaca data dalam bentuk kode melalui *paper tape reader*.
2. Melakukan pemeriksaan terhadap data tersebut melalui rangkaian *parity checking*.
3. Menyediakan *buffer* untuk satu blok data, agar pergerakan aksis dari mesin perkakasnya lebih *continue*. Bila tidak ada *buffer*, maka akses dari mesin perkakas harus menunggu sesuai dengan waktu yang diperlukan pada saat *reading circuit* dan *parity checking circuit*, ini dilakukan setiap kali akses dari mesin perkakas yang telah selesai melaksanakan perintah pergerakan dari satu blok data yang sebelumnya.

b) *Control Loop Unit*.

Adapun fungsi-fungsi dari CLU (*Control Loop Unit*) adalah :

1. Menyediakan rangkaian dari pengontrolan posisi dan kecepatan untuk setiap akses pada mesin perkakasnya. Setiap akses dari mesin perkakas dilayani oleh *control loop*. *Servo unit* untuk pengontrolan posisi dan kecepatan ini merupakan bagian yang amat penting dalam CLU, sebab ketelitian dimensi serta kualitas permukaan dari benda kerja akan sangat tergantung padanya.
2. Menyediakan rangkaian-rangkaian untuk proses deselerasi (perlambatan) dan kompensasi terhadap *back lash*.

3. Melakukan pengontrolan dari urutan operasi fungsi-fungsi pembantu (*auxiliary function*), yaitu *spindle*, cairan pendingin, penggantian pahat, penggantian pelat dan sebagainya.

C. Mesin Perkakas

Komponen ketiga dari sistem mesin perkakas NC adalah mesin perkakas atau mesin bubut itu sendiri. Mesin perkakas inilah yang terlihat secara fisik melakukan proses pemotongan yang diinginkan. Bagian-bagian yang penting dari mesin perkakas adalah meja, *spindle*, motor servo sebagai penggerak yang dapat dikontrol, pahat potong, *jig & fixture* dan sebagainya.

2.3. Komputer Dalam Sistem NC/CNC

Perkembangan dari teknologi NC tidak terlepas dari kemajuan-kemajuan yang telah dicapai dalam bidang komputer. Penggunaan dari komputer dalam unit pengontrol NC telah menghasilkan perkembangan-perkembangan dalam teknologi NC, fungsi dari NC tersebut dapat disimpan dalam bentuk program. selanjutnya, dikenal beberapa macam unit pengontrol NC yang menggunakan komputer sebagai pengontrol utamanya, yaitu :

- *Direct Numerical Control (DNC)*
- *Computer Numerical Control (CNC)*

Sebelum menginjak ke pembahasan dari DNC dan CNC, akan diuraikan dahulu alasan-alasan mengapa terjadi perubahan dari NC ke CNC atau DNC, yang telah menggunakan komputer sebagai unit pengontrol utamanya.

Dalam pengoperasian NC konvensional (*hardwire*), telah ditemukan berbagai masalah sebagai berikut :

- 1) Mudah terjadinya kesalahan dalam pembuatan *program part*, yaitu berupa kesalahan sintak atau kesalahan numerik. Biasanya kesalahan-kesalahan tersebut dapat diperbaiki setelah mencoba *program part* tersebut dijalankan di mesin perkakas NC selama 2 atau 3 kali jalan. Hal lain yang juga merupakan masalah yaitu cara menentukan urutan (langkah-langkah) pemotongan yang terbaik.
- 2) Tidak optimumnya penggunaan kecepatan potong dan kecepatan gerak makan. Dalam mesin perkakas NC konvensional, tidaklah mungkin mengubah kecepatan potong dan kecepatan makan ketika proses pemotongan sedang berlangsung.
- 3) *Punched tape*, dalam mesin perkakas NC, pita berlubang digunakan berkali-kali untuk setiap benda kerja yang dibuat. Kerusakan-kerusakan dari pita berulang ini seringkali menimbulkan masalah.
- 4) *Tape reader*, pada bagian ini sudah dikenal oleh konsumen-konsumen mesin perkakas NC konvensional bagian yang paling tidak reliable.
- 5) Dalam unit pengontrol NC, tidak akan dilakukan perubahan-perubahan yang sifatnya pengembangan dari fungsi-fungsinya interpolasi dan sebagainya.
- 6) *Management information*. Dalam unit pengontrol NC tidak disediakan *port* khusus yang bisa mengirim informasi-informasi management ke bagian-bagian lain dari fasilitas produksi.

2.3.1. *Direct Numerical Control (DNC)*

DNC didefinisikan sebagai suatu *manufacturing system*, suatu komputer (komputer besar) mengontrol secara langsung sejumlah mesin perkakas (dapat mencapai 100 mesin perkakas). *Tape reader* tidak lagi diperlukan oleh sistem DNC ini, yaitu bagian yang dianggap paling tidak reliable. Sebagai pengganti *tape reader*, *program part* dikirimkan secara langsung dari memori komputer ke mesin-mesin perkakas. Disamping itu, komputer juga mengumpulkan data dari mesin perkakas untuk diolah guna keperluan-keperluan tertentu. Konsep ini timbul karena harga dari komputer pada saat itu sangat tinggi, sehingga tidak mungkin untuk menggunakan satu komputer guna mengontrol hanya satu mesin perkakas.

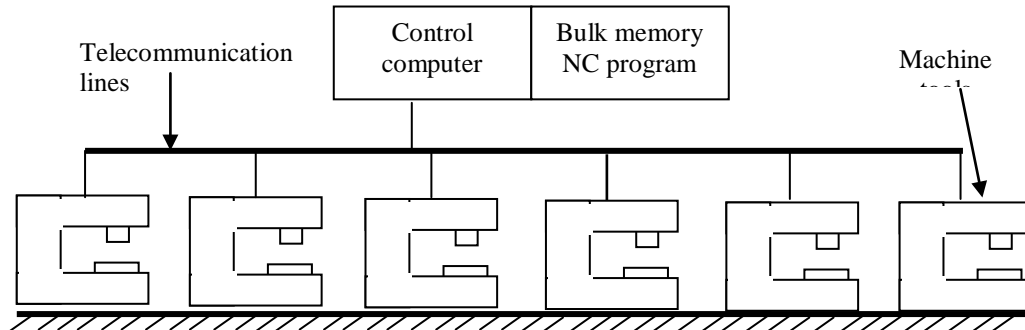
Secara umum, ada 2 macam konfigurasi dari sistem DNC, yaitu :

- a) Konfigurasi DNC dengan menggunakan satu komputer yang secara langsung mengontrol sejumlah tertentu mesin-mesin perkakas, terlihat pada gambar 2.1.
- b) Konfigurasi DNC dengan menggunakan satu komputer utama yang dihubungkan ke mesin-mesin perkakas melalui satelit-satelit berupa komputer-komputer mini, dapat dilihat pada gambar 2.2.

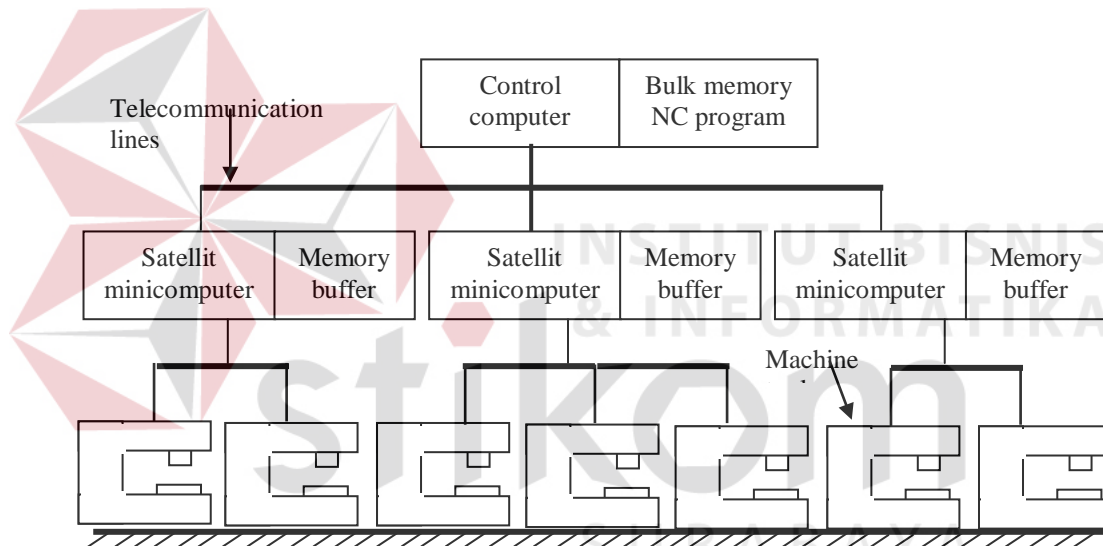
Keuntungan-keuntungan yang didapat diperoleh dengan menggunakan konsep DNC adalah :

- 1) Tidak lagi diperlukannya *punched tape* dan *tape reader*
- 2) Kemampuan dalam menghitung dan fleksibilitas yang lebih besar
- 3) Dapat menyimpan *program part* dengan lebih mudah dalam suatu *file* dari komputer.
- 4) *Program part* dapat disimpan dalam bentuk CLFILE (*Cutter Location File*)

- 5) Dapat membuat suatu laporan (*report*) mengenai *performance* dari *shop*
- 6) Memberikan suatu konsep nyata tentang bentuk dari pabrik dimasa mendatang



Gambar 2.1. Konfigurasi sistem DNC dengan satu komputer pusat



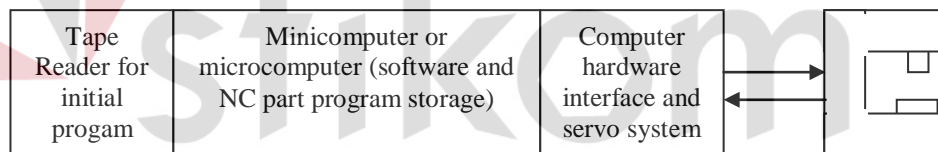
Gambar 2.2. Konfigurasi DNC dengan satu komputer pusat dan beberapa komputer mini sebagai satelitnya

2.3.2. Computer Numerical Control (CNC)

CNC adalah sistem NC yang dilengkapi dengan *dedicated* mini/mikro komputer dengan program-program yang tersimpan dalam memorinya, untuk melaksanakan fungsi-fungsi utama dari NC.

Apabila dilihat dari bentuk luarnya, maka sistem CNC sangatlah serupa dengan sistem NC. *Program part* mula-mula dibaca oleh sistem CNC melalui

tape reader, seperti halnya dalam sistem NC. Walaupun demikian, pembacaan *program part* dari media pita berlubang hanyalah dilakukan sekali saja, dan selanjutnya disimpan dalam memori komputer. Pada sistem NC, *program part* tersebut dibaca setiap kali untuk setiap benda kerja, karena sistem NC tidak memiliki memori. Dengan demikian, *tape reader* dalam sistem CNC hanya perlu 1 kali *loading* dari *program part*, dan setelah itu sistem mesin perkakas CNC dapat menghasilkan benda kerja yang sama sebanyak-banyaknya selama sistem CNC tidak dimatikan. Dibandingkan dengan sistem NC konvensional, maka sistem CNC lebih fleksibel dan kemampuannya dalam operasi-operasi aritmetik juga lebih besar. Fungsi-fungsi yang bersifat *options* dapat dimasukkan kedalam sistem CNC hanya dengan cara pemrograman, karena itulah sistem CNC juga dinamakan sebagai *softWare NC system*. Pada gambar 2.3 menunjukkan konfigurasi umum dari sistem mesin perkakas CNC.



Gambar 2.3. Konfigurasi umum mesin perkakas

Fungsi-fungsi yang dapat dilakukan oleh CNC adalah sebagai berikut :

a) Pengendalian mesin perkakas

Fungsi utama dari sistem CNC adalah mengontrol mesin perkakas, yaitu mengubah *program part* menjadi gerakan-gerakan aktual dari aksis-aksis pergerakannya dan fungsi-fungsi pembantu yang diperlukan dalam proses pemotongan.

Ada 2 jenis sistem CNC, yaitu :

1) *System reference pulses CNC*

Dalam *system referrence pulse CNC*, komputer menghasilkan pulsa-pulsa untuk dikirimkan ke *digital control loop (position and velocity control unit)* untuk melaksanakan pergerakan aksis sesuai dengan perintah yang ada dalam program part.

2) *System sampled data CNC*

Dalam *sampled data CNC system*, posisi *control loop* direalisasi di komputer, kemudian komputer menghasilkan kesalahan posisi untuk diubah menjadi sinyal analog yang selanjutnya dikirimkan ke *velocity control unit*.

b) Kompensasi dalam proses

Fungsi ini merupakan fungsi yang terdekat dengan *machine control unit*, yang mencakup koreksi-koreksi yang harus dilakukan oleh mesin perkakas bila terjadi penyimpangan-penyimpangan atau kesalahan-kesalahan selama proses berlangsung.

Beberapa fungsi yang tergolong dalam *in-proses compensation* adalah :

- 1) Perhitungan kembali dari posisi-posisi aksis bila *inspection probe* digunakan untuk menentukan suatu bidang referensi pada benda kerja.
- 2) *Offset adjustment* untuk radius pahat dan panjang pahat.
- 3) *Adaptive control* untuk mengontrol kecepatan pemotongan atau kecepatan gerak makan.

c) Mengubah program dan operasi proses

Fleksibilitas dari sistem NC *software* ini adalah tersedianya fasilitas-fasilitas yang memudahkan pemrograman maupun operasinya.

- 1) Membenahi *program part* pada mesin perkakas CNC, sehingga dapat mengoreksi atau melakukan optimalisasi dari *program part*.
- 2) *Graphic display* dari lintasan pahat, untuk memeriksa *program part*.
- 3) Berbagai jenis interpolasi, seperti : lingkaran, parabola dan sebagainya.
- 4) Tersedianya kemungkinan untuk bekerja dalam unit *metric* atau *inchi*
- 5) *Manual data input* (MDI)
- 6) *Local storage* dari sejumlah *program part*, sesuai dengan kemampuan memorinya.

d) Diagnosa

Mesin perkakas CNC merupakan sistem yang mahal dan kompleks. Kompleksitas dari sistem ini dapat menimbulkan suatu resiko terjadinya kerusakan dari salah satu komponennya, yang mengakibatkan sistem menjadi *down time*. Dengan demikian diperlukan adanya teknisi dalam bidang perawatan yang mempunyai *skill* tinggi, sehingga dapat menekan *down time* sekecil mungkin.

Sistem-sistem CNC biasanya dilengkapi dengan fasilitas *self diagnostics* yang dapat membantu teknisi perawatan memecahkan masalah-masalah yang mungkin timbul dalam sistem mesin perkakas CNC Fasilitas *self diagnostic* ini harus dapat melakukan beberapa fungsi sebagai berikut :

- 1) Diagnosa program harus mampu memberi tahu teknisi perawatan mengenai bagian-bagian dari sistem CNC yang tidak berfungsi dengan baik.

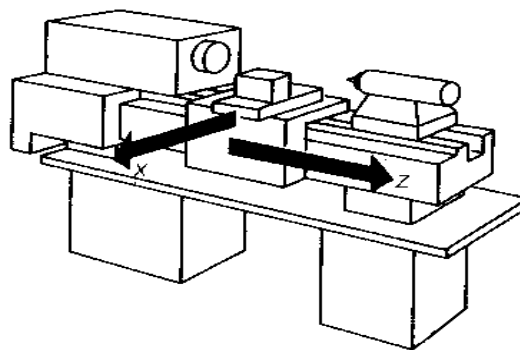
- 2) Diagnosa program harus mampu memberi tahu sebab terjadinya kerusakan
- 3) Fungsi yang ketiga ini masih merupakan suatu kemungkinan, yaitu disediakan komponen-komponen ganda sebagai cadangan dalam rangkaian kontrolnya, pada komponen-komponen ganda sebagai cadangan dalam rangkaian kontrolnya, pada komponen-komponen yang dinilai paling tidak reliable. Apabila terjadi kerusakan pada suatu komponen tersebut, maka CNC akan memerintahkan untuk menggunakan komponen cadangan dan melepaskan dari komponen yang rusak. Dengan demikian proses perbaikan terjadi tanpa adanya waktu berhenti (*down time*)

2.4. Prinsip Kerja Mesin CNC Bubut

Mesin CNC bubut mempunyai gerakan dasar ke arah melintang dan horisontal dengan sistem koordinat sumbu X dan Z. Prinsip kerja mesin CNC bubut ini adalah benda kerja yang terpasang pada *chuck* berputar, sedangkan pada bagian pahat diam. Arah gerakan pada mesin bubut diberi lambang sebagai berikut :

1. Sumbu X arah gerakan melintang tegak lurus terhadap sumbu putar.
2. Sumbu Z arah gerakan horisontal yang sejajar sumbu putar.

Untuk memperjelas fungsi-fungsinya dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Sistem koordinat pada mesin bubut

Pada mesin perkakas dengan benda kerja berputar, seperti mesin bubut, sumbu Z sejajar dengan *spindle* dan gerakan positif menggerakkan pahat menjauhi gerakan benda kerja (gambar 2.4). Sedangkan sumbu X adalah searah dengan arah gerakan pahat potong gerakan positif menggerakkan pahat potong menjauhi benda kerja. Pada sumbu Y adalah sumbu kiri dalam sistem koordinat *Cartesian*.

2.5. Definisi Pemrograman CNC

Pemrograman adalah menetapkan dalam kode dari posisi perkakas terhadap benda kerja, dengan memperhitungkan aspek teknologi dari hasil pengerjaan dan kemungkinan dari mesin perkakas dan benda kerja.

Dengan definisi tersebut, pemrograman CNC merupakan proses menyusun informasi yang terdiri dari huruf dan angka, dalam fungsi mesin dan gerakan perkakas agar proses pemesinan menghasilkan benda kerja yang dikehendaki.

Informasi yang diberikan kepada mesin meliputi informasi berupa dimensi benda kerja dan program *G-codes* yang digunakan untuk merealisasikan bentuk benda kerja yang diinginkan.

2.5.1. Metoda Pemrograman

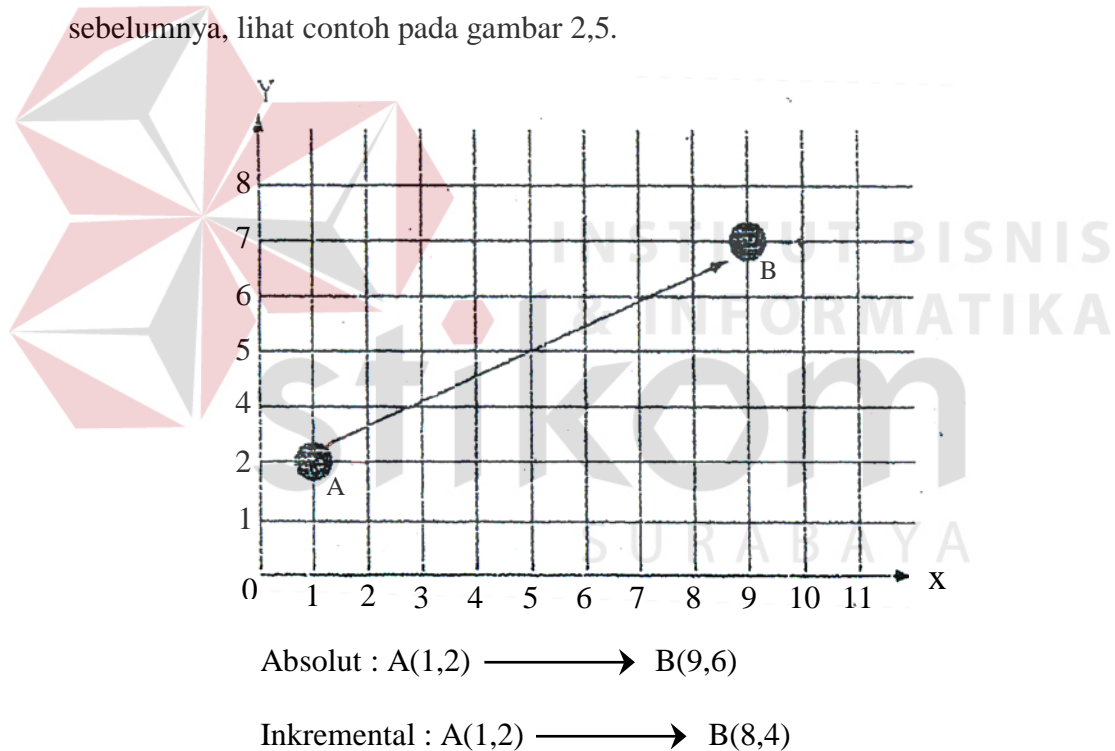
Di dalam program CNC harus dinyatakan jalannya pahat potong dalam setiap blok. Pada dasarnya ada dua metoda untuk menyatakan jalannya gerakan pahat potong, yaitu :

A. Pemrograman harga absolut.

Pada pemrograman harga absolut, titik-titik posisi yang harus dicapai oleh pahat potong selalu dinyatakan atau diukur berdasarkan titik nol dari sistem koordinat mesin perkakas yang bersangkutan (titik nol dijadikan referensi), untuk lebih jelasnya, dapat dilihat contoh pada gambar 2.5.

B. Pemrograman harga inkremental.

Pada pemrograman harga inkremental, titik-titik posisi yang harus dicapai oleh pahat potong selalu didasarkan atau diukur dari titik posisi sebelumnya, lihat contoh pada gambar 2,5.



Gambar 2.5. Contoh metode pemrograman absolut dan inkremental

2.5.2. Titik Nol dan Titik Referensi

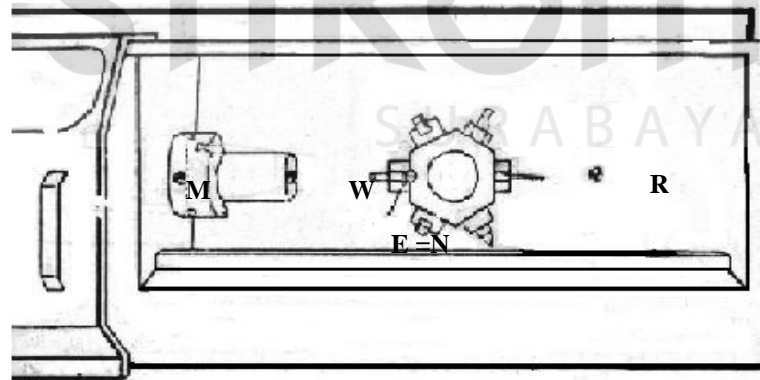
Dalam pembuatan program CNC operator harus menentukan posisi pahat potong relatif terhadap titik nol (*zero point*) dari sistem koordinat mesin perkakas

yang bersangkutan. Pada mesin perkakas NC/CNC mempunyai dua metoda untuk menspesifikasikan titik nol tersebut.

Kemungkinan pertama adalah untuk mesin perkakas yang telah mempunyai titik nol, dalam hal ini titik nol selalu dilokasikan pada posisi yang sama dari meja kerja mesin. Sebagai contoh pada mesin *freis* titik nol adalah pojok kiri bawah dari meja kerja, dan posisi pahat ditentukan koordinat X positif dan Y positif. Penetapan titik nol ini disebut *fixed zero*.

Yang kedua dan pada umumnya ditampilkan pada mesin perkakas CNC mutakhir, penetapan titik nol tergantung keinginan *operator* dalam berbagai posisi pada meja kerja mesin, disebut juga dengan *floating point*.

Selain titik nol, mesin perkakas CNC mempunyai sejumlah titik-titik referensi yang akan mendukung di dalam operasi proses maupun dalam pemrograman. Gambar di bawah ini menunjukkan titik-titik tersebut dalam mesin perkakas CNC Turning.



Gambar 2.6. Titik nol dan titik referensi pada mesin CNC *Turning*

Jenis dari titik referensi itu adalah sebagai berikut :

A. Titik Nol Mesin (M)

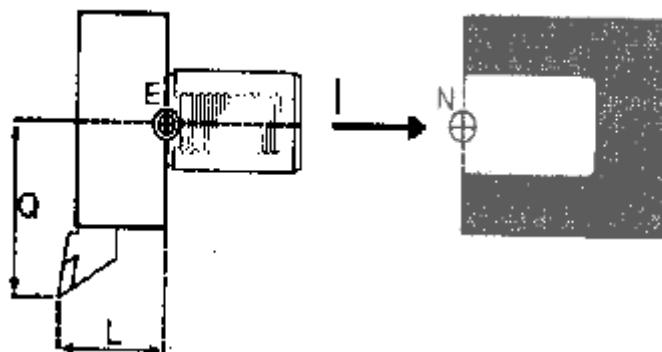
Titik nol ini dispesifikasikan oleh pabrik pembuat mesin CNC. Titik ini adalah titik nol dari sistem koordinat mesin yang merupakan *starting point* dari semua sistem koordinat lainnya (bila titik nol digeser) serta titik referensi di dalam mesin perkakas.

B. Titik Nol Benda Kerja (W)

Titik ini merupakan titik nol dari sistem koordinat benda kerja dalam hubungannya dengan titik nol dari mesin (M). Titik ini dapat dipilih bebas oleh operator dengan metode penggeseran titik nol, namun disarankan mempertimbangkan dari pemberian ukuran dimensi dari benda kerja.

C. Titik Referensi Setting Pahat Potong (E/N)

Titik ini dilokasikan pada titik tertentu pada pemegang pahat. Titik ini digunakan sebagai referensi pengukuran pahat yang datanya dimasukkan pada memori data pahat potong pada sistem kontrol, misal panjang pahat sebagai koordinat Z atau L dan *offset* pahat koordinat X atau radius pahat sebagai R.



Gambar 2.7. Titik referensi *setting* untuk pahat bubut

D. Titik Referensi R

Titik referensi ini dimaksudkan untuk mengkalibrasi dan mengontrol sistem pengukuran dari jalannya peluncur dan pahat. Setelah menghidupkan mesin, titik referensi R harus dicapai. Posisi referensi R berbeda pada setiap mesin dan ditetapkan masing-masing oleh pabrik pembuat.

2.5.3. Penggeseran Titik Nol

Titik nol dari suatu sistem koordinat mesin (titik M) dapat dipindahkan sesuai keinginan *operator* ke titik nol benda kerja (titik W), oleh karena itu harus memberikan perintah melalui fungsi perintah tertentu yang telah ditetapkan untuk maksud penggeseran titik nol pada program CNC, dan memasukkan data penggeseran kedalam memori tabel *PSO (position shift offset)* pada sistem kontrol. Fungsi-fungsi pada bahasa program CNC itu antara lain, G54, G55 bila penggeseran selalu dari titik nol dan G57, G58, G59 bila penggeseran tidak dari titik nol (M).

2.5.4. Pengukuran dan Pemrograman Pahat Potong

Setiap pahat potong yang terpasang pada *turret* mesin perkakas CNC baik pahat bubut maupun *freis* mempunyai panjang yang berbeda-beda. Oleh karena itu diperlukan pengukuran perbedaan panjang dari setiap pahat potong tersebut terhadap satu pahat potong yang dianggap referensi. Selanjutnya data hasil pengukuran tersebut dimasukkan kedalam memori tabel pahat potong pada sistem kontrol.

Adapun kemungkinan untuk mendapatkan data alat potong itu, adalah :

1. Menyentuh puncak mata alat potong ke ujung muka benda kerja.
2. Menggunakan peralatan optik

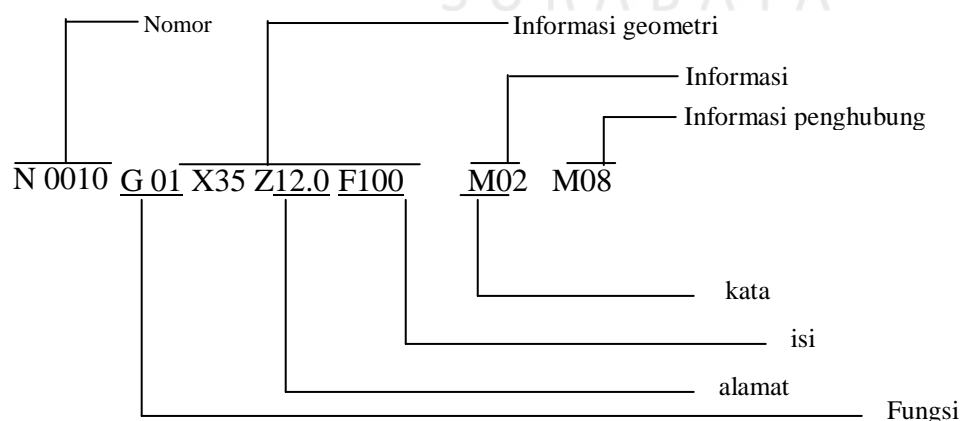
2.5.5. Bahasa Mesin CNC

Bentuk kode gerakan CNC adalah sejumlah aturan dan kolom. Jumlah kolom ditentukan oleh sejumlah fungsi. Banyaknya aturan ditentukan oleh banyaknya pengerjaan. Beberapa istilah yang perlu dijelaskan pada pemrograman CNC antara lain :

Tabel 2.1. *Part programming NC/CNC*

Istilah	Penjelasan
Isi	Kombinasi huruf, angka, tanda
Alamat (<i>address</i>)	Sebuah huruf yang berhubungan dengan arti yang tertentu
Kata (<i>word</i>)	Sebuah huruf dan beberapa angka (alamat dan bilangan)
Aturan (<i>block</i>)	Kumpulan kata dan berisi informasi untuk melaksanakan sebuah pengerjaan.

Contoh:



Gambar 2.8. Format penulisan *part programming NC/CNC*

A. Nomor

Nomor blok dipakai untuk melokalisir blok-blok penulisan program sehingga memudahkan koreksi atau penambahan bila diperlukan.

B. G (Go) : Fungsi yang diperintahkan

Fungsi G bertujuan agar mesin memerintahkan mesin untuk melaksanakan gerakan tertentu. Di sini dibedakan antara fungsi fungsi persiapan gerakan misalnya G00, G01 G02 dan G03 dengan fungsi fungsi persiapan *setting* pendahuluan misalnya G54 dan G55. Fungsi ini sangat vital dalam pemrograman benda kerja karena berisi perintah kendali gerakan mesin dan program.

C. Alamat

Alamat-Alamat ini berisi informasi arah gerak. Alamat adalah parameter yang diperlukan untuk mendukung beberapa fungsi kendali proses menuju ke bentuk yang diinginkan. Alamat X dan Z mengisyaratkan titik tujuan dalam koordinat yang akan dituju untuk pergerakan pahat. Hal ini dapat sebagai pergerakan *incremental* maupun *absolute* tergantung dari pada *setting* awalnya. Selain X dan Z juga ada *address* lain, yaitu (alamat U W, alamat I K, alamat S, alamat T, alamat L, alamat R, alamat F).

D. Pemakanan (F)

Pemakanan di sini adalah penentu kecepatan gerak (gerakan saat memakan benda kerja) pada saat proses. Dalam proses *turning* satuan yang dipergunakan adalah jarak yang ditempuh pahat potong tiap satuan waktu atau putaran.

E. Jumlah Putaran Spindel (S)

Jumlah putaran *spindel* memberi informasi tentang jumlah putaran *spindel* setiap menit atau putaran per menit.

F. Fungsi Bantu (M)

Fungsi bantu ini berfungsi sebagai pemberi informasi, saklar pendingin, penutup program, putaran sumbu utama.

G. Parameter P dan D

Jenis pelaksanaan khusus dalam siklus, sebagai contoh digunakan pada siklus pembubutan memanjang (G 84), diperintahkan parameter P dan D.

H. Tool (T)

Instruksi ini berisi alamat pahat dan berisi informasi geometrinya.

2.6. Informasi Geometri dan Teknologi

Informasi geometri adalah informasi yang berisi tentang dimensi benda kerja sebelum dan sesudah terjadi suatu pemotongan. Dengan mengetahui perbedaan dimensi antara sebelum dan sesudah terjadi suatu pemotongan, maka dapat ditentukan titik awal dan titik tujuan gerakan perkakas. Selama Proses berjalan pahat bergerak dari satu koordinat ke koordinat yang lain dengan melalui lintasan tertentu. Lintasan tersebut tak lain adalah kumpulan koordinat yang telah diperhitungkan secara matematis oleh komputer dengan mengikuti aturan yang sesuai dengan jenis gerakan yang dilakukan. Adapun lintasan tersebut adalah *linier* dan *circular*.

Informasi teknologi adalah informasi yang berisi tentang cara merealisasikan bentuk dan ukuran produk, seperti metode pemasangan dan metode pembuatan benda kerja, cara pengerjaan, urutan pengerjaan, kondisi pemakanan, kecepatan potong, material benda kerja, material perkakas, toleransi dan kualitas permukaan. Dengan demikian, seorang *programmer* harus mempunyai pengetahuan yang mendasar tentang gambar kerja, urutan pengerjaan, pengertian teknologi berbagai parameter produksi dengan menggunakan *CNC*, dan teknik pemasangan benda kerja dan pahat. Informasi teknologi seperti yang tersebut di atas sangat vital pengaruhnya terhadap perencanaan produk serta proses pemesinan *CNC* yang akan dilakukan.

2.7. Program CNC

2.7.1. Struktur Program

Dalam pemrograman *CNC* dikenal tiga jenis program, yaitu :

A. Program Utama

Adalah program yang berisi perintah-perintah proses pemesinan benda kerja mulai dari awal sampai dengan selesai, yang meliputi penggeseran titik nol, pemanggilan pahat potong, penetapan status mula, perintah gerakan cepat, berbagai perintah gerakan pemotongan, pemanggilan *sub-program*, cairan pendingin *on-off*, program berhenti sementara atau berakhir dan sebagainya.

Struktur program utama :

- Nomor program (versi EMCO : O0000 s/d O0079 dan O0256 s/d O6999)
- Isi program
- Akhir program (M 30)

B. Sub-Program

Adalah bagian program yang dibuat tersendiri (diluar program utama) jika ada bagian proses pemesinan pada benda kerja yang mempunyai bentuk identik, sehingga dapat dipanggil masuk ke program utama pada saat diperlukan dan dapat secara berulang.

Struktur *sub-Program* :

- Nomor program (versi EMCO O0080 s/d O0255).
- Isi program
- Akhir program (M 17 merupakan fungsi pengaktifan *sub-program*).

C. Program poligon

Adalah sebuah program untuk membuat gambar benda kerja dan sistem pencekamannya pada layar monitor mesin CNC. Program poligon dimaksudkan untuk melakukan simulasi proses pemesinan terhadap benda kerja dari program CNC (program utama maupun *sub-program*) yang telah dibuat.

2.7.2. Instruksi Pemrograman

Pada sebuah instruksi pemrograman terdiri atas kolom dan blok, kolom ditentukan oleh jumlah fungsi dan variabel yang dituliskan dalam satu blok ditentukan oleh banyaknya pengerjaan. Pembacaan data *G-codes* dilakukan per blok dan tiap blok mengandung alamat yang masing-masing punya harga sendiri.

Berikut ini adalah fungsi dari G-codes :

Tabel 2.2. Fungsi G-codes

Fungsi	Keterangan
G 00	Gerakan cepat
G 01	Interpolasi linear
G 02	Interpolasi melingkar searah jarum jam
G 03	Interpolasi melingkar berlawanan arah jarum jam
G 84	Siklus pembubutan memanjang dan melintang
G 96	Data kecepatan asutan, dalam mm/menit [$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times D}$] (konstan)
G 97	Pemrograman langsung jumlah put. spindel [$V = \frac{\pi \times D \times n}{1000}$] (konstan)
G 94	Penentuan asutan, dalam mm/putaran (<i>feeding</i>)
G 95	Penentuan asutan, dalam μ m/putaran (<i>feeding</i>)
G 53	Pembatalan G 54 dan G 55
G 54	Penggeseran titik nol dari titik M
G 55	Penggeseran titik nol dari titik M
G 92	Penggeseran khusus bukan dari titik nol
G 56	Pembatalan G 57, G 58, dan G 59
G 57	Penggeseran titik nol bukan dari titik M
G 58	Penggeseran titik nol bukan dari titik M
G 59	Penggeseran titik nol bukan dari titik M dan pengaktifan kembali G 92
G 25	Pemanggilan <i>Sub-Program</i>
G 40	Pembatalan Penggeseran jalannya alat potong (pembatalan G41 dan G42)
G 41	Koreksi jalannya pahat sebelah kiri
G 42	Koreksi jalannya alat potong sebelah kanan

Sedangkan untuk fungsi M-codes pada perangkat lunak simulasi ini, adalah :

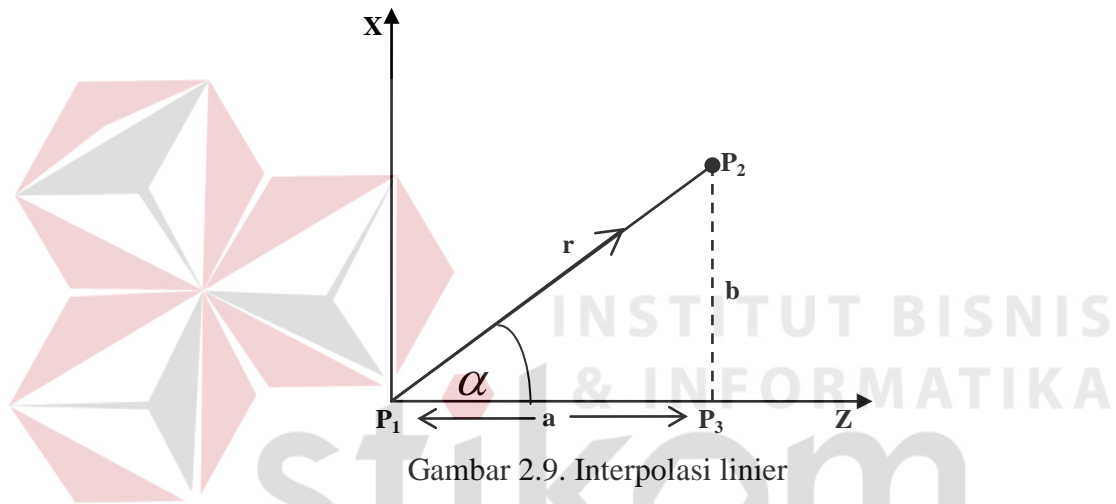
Tabel 2.3. Fungsi M-codes

Fungsi	Keterangan
M 03	Putaran sumbu utama searah jarum jam
M 05	Putaran sumbu utama berhenti
M 00	Berhenti terprogram
M 17	Sub Program habis
M 30	Program berakhir dan kembali ke awal program
M 08	Pendingin hidup
M 09	Pendingin mati

2.7.3. Perhitungan Koordinat

Selama Proses berjalan pahat bergerak dari satu koordinat ke koordinat yang lain dengan melalui lintasan tertentu. Lintasan adalah kumpulan koordinat yang telah diperhitungkan secara matematis oleh komputer dengan mengikuti aturan yang sesuai dengan jenis gerakan yang dilakukan. Lintasan tersebut terdiri dari lintasan *linier* dan *circular*.

A. Interpolasi Linier



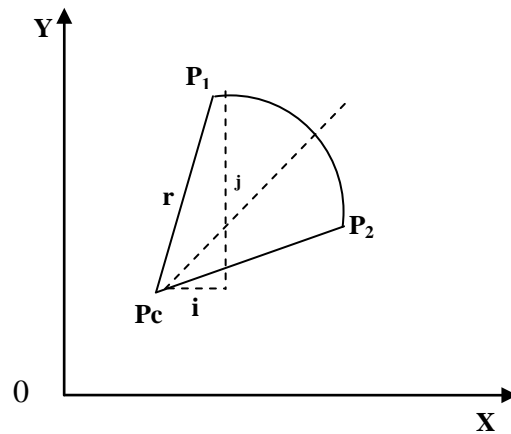
Dari gambar 2.9, dapat dicari koordinat–koordinat yang dilalui oleh pahat dari titik P₁ ke titik P₂ adalah (Anton, H: Dasar-dasar Aljabar Linear : 2000: 307)

$$\sin (\alpha) = \frac{b}{r} \quad \text{dimana} \quad b = r \cdot \sin (\alpha) \dots\dots\dots(2-1)$$

$$\cos (\alpha) = \frac{a}{r} \quad \text{dimana} \quad a = r \cdot \cos (\alpha) \dots\dots\dots(2-2)$$

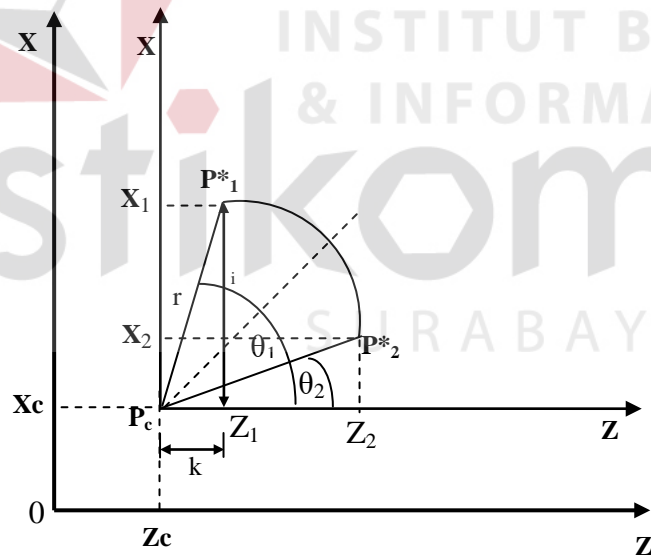
$$\text{sehingga :} \quad r = \sqrt{a^2 + b^2} \dots\dots\dots(2-3)$$

B. Interpolasi Circular



Gambar 2.10. Interpolasi linier

Dari gambar di atas dapat dianalisa gerakan *circular*, dengan terlebih dahulu mentranslasikan setiap koordinat tersebut ke (0,0) dalam koordinat bayangan, seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.11. Translasi koordinat

Jadi koordinat-koordinat yang ditranslasikan dapat dianalisa sebagai berikut :

$$P^*_1 = [(Z_1 - Z_c), (X_1 - X_c)] \dots\dots\dots(2-4)$$

$$P^*_2 = [(Z_2 - Z_c), (X_2 - X_c)] \dots\dots\dots(2-5)$$

$$\frac{i}{k} = \operatorname{tg} \theta_1$$

$$\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{(X_1 - X_c)}{(Z_1 - Z_c)}$$

sehingga $\theta_1 = \arctan \frac{(X_1 - X_c)}{(Z_1 - Z_c)} \dots\dots\dots(2-6)$

$$\frac{i}{k} = \operatorname{tg} \theta_2$$

$$\operatorname{tg} \theta_2 = \frac{(X_2 - X_c)}{(Z_2 - Z_c)}$$

sehingga $\theta_2 = \arctan \frac{(X_2 - X_c)}{(Z_2 - Z_c)} \dots\dots\dots(2-7)$

Jadi

$$r = \sqrt{(Z_1 - Z_c)^2 + (X_1 - X_c)^2} \dots\dots\dots(2-10)$$

Jadi koordinat-koordinat yang dilalui oleh pahat :

$$Z = Z_c + r \cos \theta \dots\dots\dots(2-8)$$

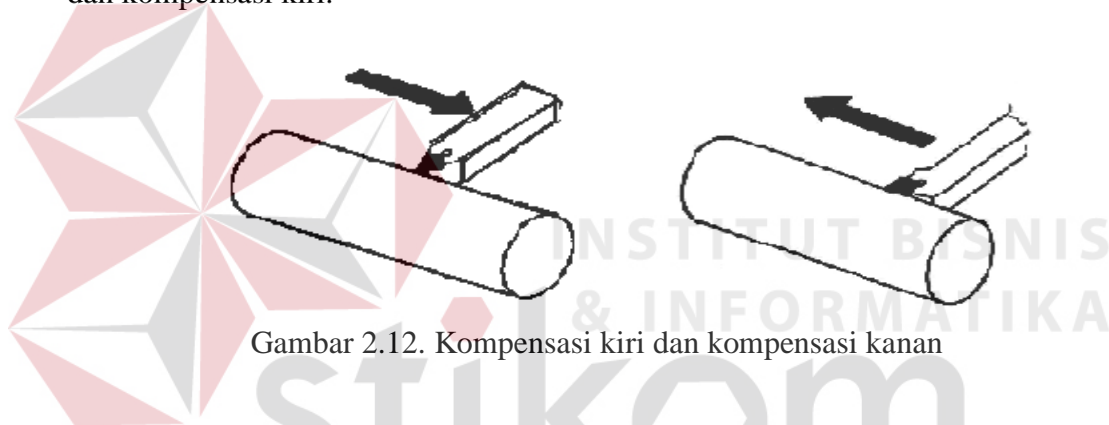
$$X = X_c + r \sin \theta \dots\dots\dots(2-9)$$

:2.7.4. Koordinat Kompensasi

Pada proses pengerjaan benda kerja seorang *programmer* akan merasa kesulitan bila harus memikirkan letak koordinat pahat terhadap benda kerja. Adapun kemungkinan yang bisa terjadi adalah kesalahan menjadi lebih besar, program menjadi kurang efektif. Karena pemakanan oleh pahat secara aktual tidak sesuai dengan yang diinginkan. Oleh karena itu untuk memperhitungkan letak koordinat pahat dialihkan ke sistem kontrol mesin, sehingga *programmer* cukup

menuliskan koordinat benda kerjanya saja. Pergeseran koordinat akibat adanya diameter (*radius*) pahat, inilah disebut dengan kompensasi.

Ada dua jenis kompensasi yang dipergunakan pada proses, yaitu kompensasi kiri dan kompensasi kanan. Kompensasi kiri adalah pergeseran koordinat benda kerja ke sebelah kiri relatif terhadap gerakan pahat sejauh radius pahat yang dipergunakan. Sedangkan kompensasi kanan adalah pergeseran koordinat benda kerja ke sebelah kanan relatif terhadap arah gerakan radius yang dipergunakan. Dibawah ini akan digambarkan perbedaan dari kompensasi kanan dan kompensasi kiri.



Gambar 2.12. Kompensasi kiri dan kompensasi kanan

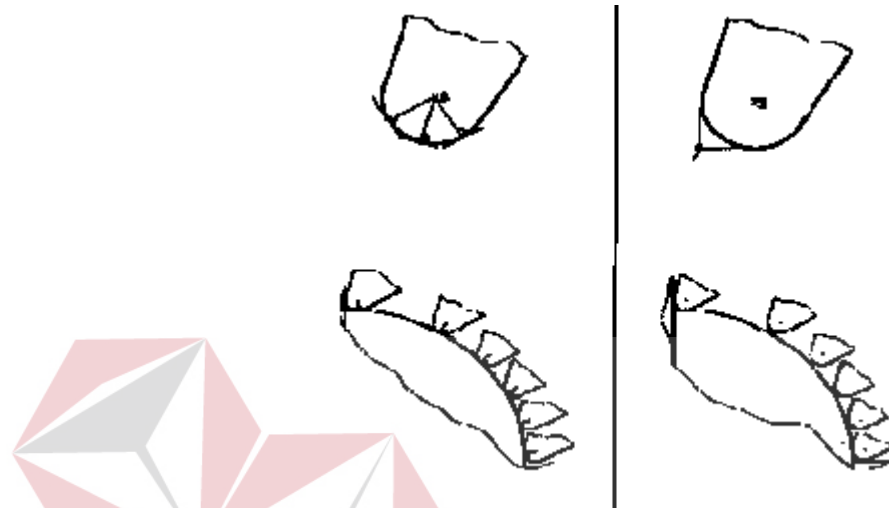
Saat proses pemotongan berlangsung, koordinat awal dan akhir titik pusat pahat tidak dapat ditentukan dengan menggeser koordinat program sejauh jari-jari pahat begitu saja, tetapi masih diperhitungkan koordinat gerakan pahat berikutnya. Hal ini dilakukan untuk menghindari kerusakan geometri benda kerja, dan untuk memperoleh gerakan pahat yang lebih efisien.

Dalam proses kompensasi ini ada beberapa pasangan gerakan yang harus diperhitungkan, yaitu :

1. Pasangan gerak linier dengan gerakan linier.
2. Pasangan gerakan linier dan circular.
3. Pasangan gerak circular dengan circular.

Dengan kompensasi radius

Tanpa kompensasi radius



Gambar 2.13. Perbedaan kontur

Untuk pemanggilan program pada mesin CNC ada dua prosedur, selain memasukkan perintah kompensasi (G 42, G 41) juga harus dimasukkan informasi pahat pada data tool yaitu r (*nose radius*) dan L (posisi radius pahat). Prosedur ini harus dilakukan agar perintah kompensasi dapat berjalan dengan baik. Pada gambar 2.12 ditunjukkan perbedaan kontur yang terbentuk pada proses dengan menggunakan perintah kompensasi dan tidak ada perintah, akan terlihat perbedaan pembacaan pada sistem kontrol tentang titik nol radius pahatnya,

2.8. C++ Builder

C++ Builder merupakan alat bantu pemrograman dalam lingkungan visual untuk RAD (*Rapid Application Development*). Dengan menggunakan C++ Builder dapat dibuatkan suatu aplikasi *windows* dengan lebih efisien dan

meminimalisasi penulisan kode program, juga memberikan sebuah *library component* yang komprehensif, dan disertai sederetan *tool-tool* RAD yang meliputi aplikasi, template *form*, dan *wizard* pemrograman.

C++ Builder salah satu produk dari *Borland* yang menganut *Object Oriented Programming* (Pemrograman Berorientasi Object). Program ini dikembangkan karena semakin banyaknya perangkat lunak berbasis *windows* dan *Linux* yang dikembangkan dengan bahasa C dan C++, sehingga *software* yang dihasilkan lebih efisien serta meningkatkan *performance* dan *functionality*.

Ketika kita membuka C++ Builder, kita akan ditempatkan pada lingkungan pemrograman visual, dalam lingkungan ini C++ Builder memberikan semua *tool-tool* yang diperlukan untuk merancang, menguji, dan *debug* program. Lingkungan pengembangan C++ Builder mempunyai beberapa bagian fleksibel yang dapat dipindahkan dimanapun pada layar. Lingkungan pengembangan C++ Builder terdiri dari menu utama, *toolbar*, dan *component pallet*. Bagian lain yang disertakan dan secara otomatis akan ditampilkan saat C++ Builder *start* adalah *object inspector*, *code editor*, dan sebuah *form*. Dari Uraian diatas dapat diketahui gambaran tentang pemrograman dengan bahasa Delphi yang akan digunakan sebagai bahasa pemrograman simulasi mesin perkakas *CNC EMCO TURN 242*.