

Development of CNC 4-Axis by Modifying Milling Machine EMCO TU 3-Axis

Teuku Firsad^{1,*}, Muhammad Tadjuddin¹ dan Hendra Ahmad Farmansyah¹

¹Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Universitas Syiah Kuala - Banda Aceh

*Korespondensi: teuku.firsad@unsyiah.ac.id

Abstract. CNC machine is a automation of machine tools that able to machining the part with a very high accuracy compared with conventional machining process. The more axis motion on the CNC then the machine is increasingly able to produce a more diverse product. Laboratory of Design and Manufacturing Syiah Kuala University a few years ago had received some Austrian EMCO TU-3A (3 axis) milling machines but the machines were damaged and malfunctioning. In order for those CNC machine can be functional again is needed identifying, analyzing and redesigning the machine system. This research modified the TU-3A 3 axis machine into the 4 axis CNC machine which the A axis rotated on the X axis. The CNC 4 axis has the X, Y, Z, and A axis direction so that could reach parts that can not be reached by CNC 3 axis machine conventional. This study also developed a system to apply CAD/CAM system to the redesign machine.

Abstrak. Mesin CNC merupakan mesin yang mampu melakukan proses pemesinan yang mempunyai tingkat akurasi yang sangat tinggi dibandingkan dengan proses pemesinan konvensional. Semakin banyak axis (sumbu) gerak pada mesin CNC maka mesin tersebut semakin mampu menghasilkan produk yang lebih beragam. Laboratorium Desain dan Manufaktur Unsyiah beberapa tahun silam pernah mendapatkan bantuan beberapa mesin milling EMCO TU-3A (3 axis) buatan Austria namun mesin-mesin tersebut sudah rusak dan tidak berfungsi. Agar mesin CNC tersebut bisa difungsikan lagi, dilakukanlah identifikasi, analisis dan merancang ulang sistem mesin CNC milling EMCO tersebut. Penelitian ini modifikasi mesin TU-3A 3 axis menjadi mesin CNC 4 axis dengan sumbu A yang berotasi pada sumbu X. CNC 4 axis memiliki arah axis X, Y, Z, dan A sehingga mampu menjangkau bagian yang tidak dapat dijangkau oleh mesin CNC 3 axis konvensional. Penelitian ini juga mengembangkan sistem untuk menerapkan sistem CAD/CAM pada mesin hasil perancangan.

Kata kunci: CNC, rotary axis, retrofit CAD, CAM

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Mesin CNC merupakan mesin yang dikendalikan dengan kode angka dan huruf yang secara otomatis menjalankan operasi pemesinan menurut perintah yang tersusun dalam kode-kode tersebut. Sistem kontrol ini dinamakan *numerical control*.

Dalam perkembangannya mesin CNC *modern*, kinerja atau kemampuan mesin makin meningkat dengan bentuk mesin yang sederhana dan rapi dengan fitur desain semakin komplit. Selain itu CNC juga telah menggunakan teknologi sehingga dapat bekerja lebih efisien dan praktis.

Saat ini CNC tidak hanya digunakan oleh perusahaan-perusahaan industri manufaktur saja namun lembaga pendidikan seperti perguruan tinggi juga menggunakannya sebagai alat dalam melakukan pengembangan riset. Perguruan tinggi biasanya menggunakan mesin EMCO CNC *turning training unit 2 axis* (TU-2A) dan *milling training unit 3 axis* (TU-3A) sebagai sarana praktikum mahasiswa dan pengembangan riset. Namun mesin-mesin tersebut telah banyak yang mengalami kerusakan, Agar CNC tersebut bisa terus dimanfaatkan diperlukan

inisiatif merancang ulang CNC tersebut yaitu dengan cara melakukan modifikasi mesin CNC 3 axis TU-3A menjadi mesin CNC 4 axis dengan sumbu A yang berotasi pada sumbu X. Pemesinan 4 axis adalah proses pemesinan dengan mesin CNC yang memiliki 4 arah gerak (*axis*), yakni arah X, Y, Z, dan A.

Dalam paper ini akan dibahas proses pembuatan sistem kerja CAD/CAM pada mesin CNC TU-3A dengan mengembangkan sistem kontrol mesin CNC TU-3A dan memodifikasi mesin CNC 3 axis menjadi mesin CNC 4 axis dengan menambahkan sumbu A yang berotasi pada sumbu X dan mesin mampu menjangkau sisi benda kerja yang tidak bisa dijangkau oleh sistem 3 *axis* (X, Y, Z) yang konvensional.

Mesin Miling 3 Axis

Mesin CNC TU-3A adalah salah satu jenis mesin CNC *milling 3 axis* yang diproduksi oleh EMCO yang berarti mempunyai 3 motor *stepper* (gambar 1). Dalam satu langkah (*step*) sebuah motor *stepper* mampu bergerak sejauh 0,0138 mm atau berputar 5°

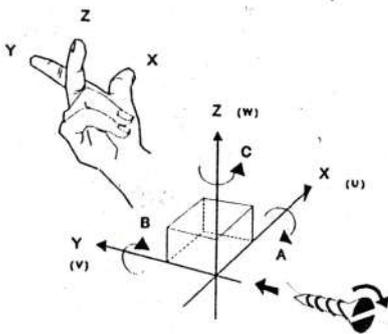
untuk satu *step* [5]. Untuk bergerak sejauh 1 mm, maka diperlukan 72 *step* dari motor *stepper*.



Gambar 1. Mesin CNC EMCO TU-3A

Sumbu mesin NC memegang peranan penting karena menentukan gerakan pahat relatif terhadap benda kerja sehingga berkaitan dengan kompleksitas pekerjaan yang bisa ditangani oleh mesin NC yang bersangkutan. Standar ISO 841 yang berisi tentang penamaan sumbu NC secara sistematis menjelaskan sumbu-sumbu NC dimulai dengan sumbu Z yang berorientasi pada spindle, diikuti dengan sumbu X yang horizontal, kemudian barulah sumbu Y yang mengikuti kaidah tangan kanan sehingga membentuk sistem sumbu XYZ untuk menyatakan translasi pahat.

Bila ada sumbu-sumbu yang sejajarnya dinamakan berturut-turut sebagai sumbu U, V dan W. Mesin juga dapat dilengkapi dengan sumbu putar A, B dan C yang mengikuti kaidah tangan kanan (lihat gambar 2) berkaitan dengan arah gerakan positif sumbu translasinya (X, Y, Z) [7].



Gambar 2. Sumbu kaidah tangan kanan

Komponen Utama

a. Motor Stepper

Motor *stepper* merupakan motor DC yang dapat diatur posisinya dengan akurat pada posisi tertentu dan dapat berputar ke arah yang diinginkan dengan memberi pulsa-pulsa listrik dengan pola tertentu [8].

Wirdarto tahun 2008 juga menyebutkan motor *stepper* adalah motor DC yang gerakannya bertahap (*step per step*) dan memiliki akurasi yang tinggi tergantung pada spesifikasinya. Setiap motor

stepper mampu berputar untuk setiap *step*-nya dalam satuan sudut (0.75° , 0.9° , 1.8°), makin kecil sudut per *step*-nya maka gerakan per *step*-nya motor *stepper* tersebut makin presisi. Dilihat dari lilitannya motor *stepper* dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis yaitu:

a) Motor Stepper Unipolar

Motor *stepper unipolar* terdiri dari dua lilitan yang memiliki *center tap*. *Center tap* dari masing masing lilitan ada yang berupa kabel terpisah ada juga yang sudah terhubung didalamnya sehingga *center tap* yang keluar hanya satu kabel. Untuk motor *stepper* yang *center tap*-nya ada pada masing – masing lilitan kabel inputnya ada 6 kabel. Namun jika *center tap*-nya sudah terhubung di dalam kabel inputannya hanya 5 kabel. *Center tap* dari motor *stepper* dapat dihubungkan ke *ground* atau ada juga yang menghubungkannya ke +VCC hal ini sangat dipengaruhi oleh *driver* yang digunakan.

b) Motor Stepper Bipolar

Motor *stepper bipolar* memiliki dua lilitan. Perbedaan dari tipe *unipolar* adalah bahwa pada tipe *bipolar* lilitannya tidak memiliki *center tap*. Keunggulan tipe *bipolar* yaitu memiliki torsi yang lebih besar jika dibandingkan dengan tipe *unipolar* untuk ukuran yang sama. Pada motor *stepper* tipe ini hanya memiliki empat kabel masukan. Namun untuk menggerakkan motor *stepper* tipe ini lebih rumit jika dibandingkan dengan menggerakkan motor *stepper* tipe *unipolar*.

Adapun data teknis *stepper* motor pada mesin CNC TU-3A adalah :

- a) Jumlah putaran 72 langkah.
- b) Momen putar 0.5 Nm.
- c) Kecepatan gerakan dimana, Gerakan cepat maksimum 700 mm/menit, Gerakan operasi manual 5-500 mm/menit. dan Gerakan operasi mesin CNC terprogram 2-499 mm/menit.

b. Eretan

Eretan merupakan gerak persumbuan jalannya mesin. Pada mesin CNC TU-3A, mesin ini mempunyai dua fungsi gerakan kerja, yaitu gerakan kerja posisi vertikal dan gerakan kerja pada posisi horizontal [11].

Adapun yang dimaksud dengan gerakan kerja tersebut adalah:

- a) Posisi vertikal
 - Eretan memanjang sumbu X (0-199,9 mm)
 - Eretan melintang sumbu Y (0-99.99 mm)
 - Eretan vertikal sumbu Z (0-199.99mm)
- b) Posisi horizontal
 - Eretan memanjang sumbu Z (0-199,9 mm)
 - Eretan melintang sumbu X (0-99.99 mm)
 - Eretan vertikal sumbu Y (0-199.99mm)

c. Mikrokontroler

TB6560AHQ adalah sebuah IC mikrokontroler buatan Toshiba yang penggunaannya dikhususkan untuk mengontrol gerakan motor *stepper*. Mikrokontroler ini kemudian dirangkai dengan beberapa komponen lain sehingga menjadi sebuah *driver control* untuk beberapa *motor stepper* untuk satu buah *motor stepper* menggunakan satu buah IC, yang komplis dengan DIP *setting* dan fitur-fitur lainnya, dan juga dapat dikendalikan menggunakan komputer melalui kabel *parallel port* (BD25).

d. Parallel Port (LPT)

Parallel port adalah salah satu jenis soket pada PC untuk berkomunikasi dengan peralatan luar. *Parallel port* biasanya terletak pada salah satu *port* yang terletak pada panel bagian belakang komputer. Arti istilah *parallel* yakni sistem pengiriman data digital, dimana beberapa *bit* data dikirim sekaligus pada satu saat dengan menggunakan jalur terpisah [4].

Standar *port* paralel yang baru adalah IEEE 1284 yang dikeluarkan tahun 1984. Standar ini mendefinisikan 5 mode operasi sebagai berikut:

1. Metode Kompabilitas
2. Mode *Nibble*
3. Mode *Byte*
4. Mode EPP (*Enhanced Parallel Port*)
5. Mode ECP (*Extended Capability Port*)

Tujuan dari standar yang baru tersebut ialah untuk mendesain *driver* dan peralatan yang baru sehingga kompatibel dengan peralatan lainnya serta standar paralel *port* sebelumnya (SPP) yang diluncurkan pada tahun 1981. Mode kompabilitas, *nibble* dan *byte* digunakan sebagai standar perangkat keras yang tersedia di port paralel dimana EPP dan ECP membutuhkan tambahan *hardware* yang dapat berjalan dengan kecepatan yang lebih tinggi. Mode kompabilitas atau mode *centronics* hanya dapat mengirimkan data pada arah maju dengan kecepatan 50 *kbytes* per detik hingga 150 *kbytes* per detik. Untuk menerima data, maka harus diubah menjadi mode *nibble* atau *byte*. Mode *nibble* hanya dapat menerima 4 *bit* pada arah mundur, misalnya dari alat ke komputer. Mode *byte* menggunakan fitur *bi-directional parallel* untuk menerima 1 *byte* (8 *bit*) data pada arah mundur [6].

Retrofit

Retrofit merupakan proses menambah, menggantikan dan memodifikasi yang bertujuan untuk perbaikan atau memaksimalkan kinerja tanpa menghilangkan bentuk dasar atau sistem pada alat yang akan diretrofit. Hal yang perlu diperhatikan dalam meretrofit sebuah sistem kontrol mesin adalah kondisi me-kanik mesin yang akan di retrofit artinya

kondisi mekanik mesin harus menunjang untuk dioperasikan dengan sistem kontrol yang baru.

CAD/CAM System

Groover menyebutkan CAD/CAM adalah istilah yang berarti menggunakan komputer desain dan dibantu dengan komputer manufaktur. Teknologi CAD/CAM berkaitan erat dengan penggunaan teknologi komputer digital untuk menjalankan fungsi tertentu dalam desain dan produksi [2].

CAD/CAM *system* merupakan gabungan dari dua sistem terintegrasi yang menggabungkan desain gambar rekayasa dengan kemampuan program komputer untuk menerjemahkan desain gambar rekayasa sehingga dapat mengontrol mesin NC. Sistem CAD/CAM sendiri terjadi apabila spesifikasi desain secara langsung ditransfer atau diterjemahkan kedalam spesifikasi manufaktur.

Mastercam®

Tambahan tahun 2006 menyebutkan Mastercam® adalah sebuah perangkat lunak komputer yang berbasis CAD/CAM yang sering digunakan oleh berbagai macam perusahaan manufaktur. Matercam memiliki fasilitas-fasilitas komputer grafis yang memungkinkan penggunaanya untuk melakukan berbagai bentuk simulasi proses permesinan (*machining*) sebelum diimplementasikan pada proses permesinan yang sebenarnya (berbasis *computer numerical controlled/CNC based*).

Mach® 3

Mach® 3 adalah *software* buatan Artsoft yang dapat mengolah program yang dihasilkan oleh *software* CAM berupa *g-code*. Kemudian Mach® 3 meneruskan perintah yang ada pada program *g-code* ke *driver board* untuk mengendalikan *motor stepper*.

Metode Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian ini adalah sebagai berikut:

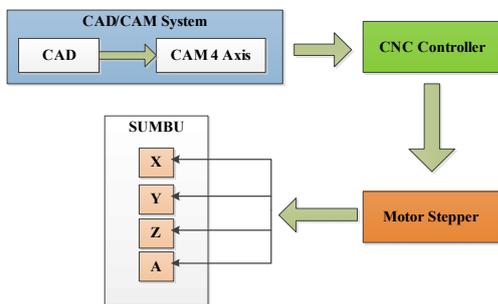
- a) Merancang dudukan sumbu keempat (sumbu A) yang berputar pada sumbu X.
- b) Merancang dudukan *spindle* yang menggunakan motor DC 24 volt sebagai penggerak.
- c) Mempelajari *software* Mastercam® X4 hingga menghasilkan simulasi pemotongan 4 *axis* dan program *g-code*.
- d) Mempelajari *software* Mach® 3 untuk menggerakkan motor *stepper* dan menjalankan motor *stepper* dengan menggunakan *g-code* yang dihasilkan *software* CAM.
- e) Memasang dudukan sumbu keempat pada mesin CNC EMCO TU-3A.

- f) Memasang 4 buah motor *stepper* pada *driver motor control* sebagai penggerak sumbu X, Y, Z dan sumbu A.
- g) Menghubungkan *driver motor control* pada PC dengan kabel *parallel port* BD25.
- h) Menghubungkan *driver motor stepper* dengan *power supply* 12 V 3 A.
- i) Menjalankan *software Mach*[®]3 untuk mengontrol motor *stepper*.

Pengembangan Mesin CNC

a. Sistem Kontrol Mesin CNC

Pada diagram dalam gambar 3 dapat dilihat mekanisme sistem kontrol yang digunakan dalam proses pengembangan mesin CNC 3 axis ke 4 axis.



Gambar 3. Diagram mekanisme sistem kontrol mesin CNC

Mekanisme kerja pada sistem kontrol mesin CNC adalah sebagai berikut:

1. CAD/CAM System
Desain gambar pada *software* CAD kemudian disimulasikan hingga menghasilkan pada *software* CAM sehingga menghasilkan *g-code* dan kemudian di masukkan pada *software controller* motor *stepper*.
2. CNC Controller
Program *g-code* pada *software controller* kemudian di kirim ke CNC controller yang kemudian di eksekusi untuk menggerakkan motor *stepper*.
3. Motor Stepper
Motor *stepper* bergerak sesuai dengan program yang dikirim oleh *software controller* ke CNC controller (*controller*).
4. Sumbu Gerak
Motor *stepper* bergerak yang kemudian menggerakkan sumbu yang ada pada mesin CNC.

b. Konfigurasi Hardware

Pada penelitian ini digunakan beberapa *hardware* untuk mendukung pengembangan mesin *miling* 3 axis menjadi 4 axis.

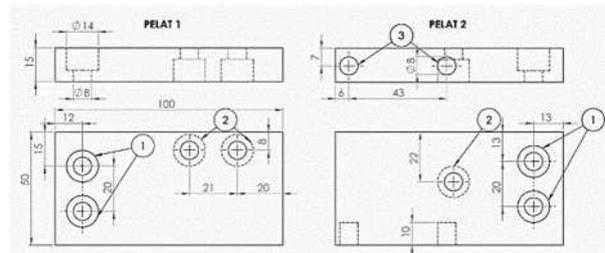
a) Pemutar Sumbu A

Pemutar sumbu A dan pemegang benda kerja menggunakan *spidle* dan chuck mesin CNC EMCO TU-2A.

Pada bagian bawah dudukan spindle terdapat 3 lubang baut yang berfungsi untuk mengikat dudukan spindle pada rangka mesin pada mesin TU-2A. Jadi untuk memasang pada meja mesin TU-3A maka harus dirancang dudukan untuk mengikatkan dudukan *spindle* dengan meja mesin.

b) Pengikat Sumbu A pada Meja Mesin

Setelah mengukur jarak dan diameter lubang baut pada bagian bawah pemutar sumbu A maka penulis merancang komponen untuk mengikatkan sumbu A tersebut pada meja mesin CNC yang terbuat dari pelat aluminium. Pada gambar 4 dapat dilihat dimensi pelat dan rancangan pengikat antara dudukan sumbu A dan meja mesin.



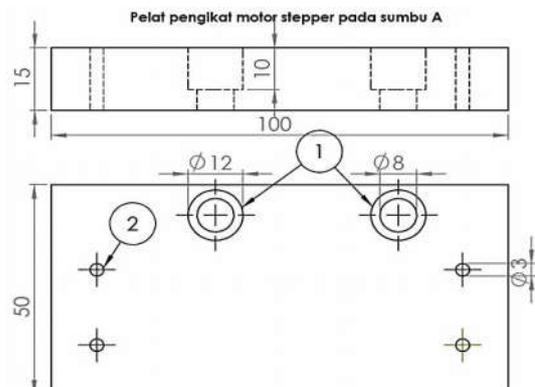
Gambar 4. Desain pelat pengikat sumbu A pada meja mesin

Keterangan gambar :

1. Lubang baut untuk memasang pelat aluminium pada meja mesin.
2. Lubang baut untuk memasang pelat aluminium pada sumbu A.
3. Lubang ulir untuk memasang pelat pengikat motor *stepper*.

c) Pengikat Motor Stepper Pada sumbu A

Untuk mengikatkan motor *stepper* dan sumbu A maka diperlukan komponen tambahan yang diikatkan pada pelat aluminium pada sumbu A. Pada pelat aluminium terdapat tempat mengikat motor *stepper* yang sejajar dengan poros sumbu A (gambar 5).



Gambar 5. Desain pelat pengikat motor *stepper* pada sumbu A

Keterangan gambar :

1. Lubang baut untuk memasang pelat pada pelat pengikat sumbu A.
2. Lubang ulir untuk memasang motor *stepper*.

d) Perencanaan *timing belt*

Untuk menggerakkan sumbu A maka dibutuhkan sarana penghubung antara motor *stepper* dan poros sumbu A. Maka digunakan *timing belt* yang mempunyai gerigi sesuai dengan gerigi pada poros motor *stepper*.

e) Jarak poros sumbu A dan motor *stepper*

Jarak antara poros sumbu A dan poros motor *stepper* sangat berpengaruh dalam menentukan putaran sumbu A mencapai 360° karena jika jarak antara keduanya terlalu dekat maka akan *timing belt* akan menyentuh poros sumbu A begitu juga dengan kawat baja akan menyentuh poros motor *stepper*, hal ini akan menyebabkan terjadinya *slip* dan kerusakan pada *timing belt* yang dipakai.

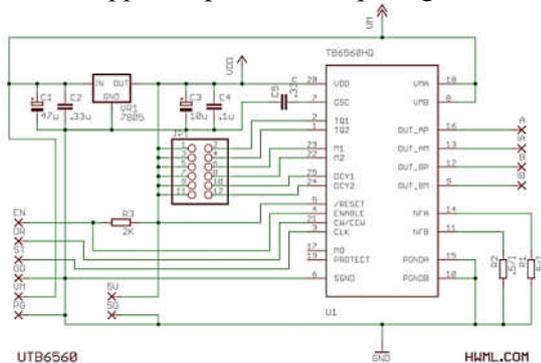
Untuk menentukan jarak yang aman antara sumbu motor *stepper* dan poros sumbu A, dapat ditentukan dengan memenuhi syarat bahwa pada saat motor *stepper* berputar, maka kawat baja akan bergerak dan menyentuh sumbu motor *stepper*. Karena pada ujung *timing belt* terdapat kawat penahan, ikatan kawat baja dan pegas maka jarak antara poros sumbu motor *stepper* dan poros sumbu A adalah 100 mm.

f) Perakitan dan pemasangan sumbu A pada meja mesin

Setelah selesai membuat pelat pengikat untuk sumbu A dan motor *stepper* maka sumbu A siap dirakit dan dipasangkan pada meja mesin CNC.

c. Konfigurasi *Controller*

Konfigurasi *controller* dimulai dari *power supply*, *programmer* ke komputer, *limit switch* hingga motor *stepper*, seperti terlihat pada gambar 6.



Gambar 6. Skema *Controller* untuk sumbu X

d. Konfigurasi *Software*

Perangkat lunak yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah Mastercam® X4 untuk desain dan simulasi dan juga Mach®3 mengendalikan motor *stepper*. Pada penelitian ini digunakan *software* Mastercam® X4 yang berfungsi untuk mendesain gambar dan melakukan simulasi pemotongan 4 *axis* hingga menghasilkan program *g-code*.

e. Kontrol dan Kalibrasi Motor *Stepper* pada Mach®3

Untuk dapat mengendalikan motor *stepper* dengan Mach®3 maka harus dilakukan *setting* dan kalibrasi sesuai dengan karakteristik dan spesifikasi masing-masing motor *stepper*.

f. Pemasangan Komponen Mesin

Sebelum melakukan pengujian pada mesin maka seluruh bagian mesin termasuk sumbu A, *controller* dan komputer dipasang pada posisi masing-masing. Pada gambar dibawah ini dapat dilihat mesin CNC 4 *axis* dengan sumbu A berotasi pada sumbu X.



Gambar 7. Mesin CNC 4 *axis*

g. Proses Pengujian Mesin

Untuk mengetahui kemampuan dan akurasi mesin CNC yang dibuat maka harus dilakukan pengujian pada semua sumbu yang ada terutama sumbu A.

a) Pengujian Gerakan Sumbu Mesin

Dalam proses pemesinan tingkat akurasi dan kemampuan mesin sangat penting untuk diketahui, karena hal ini akan berpengaruh terhadap kinerja mesin dan hasil pemotongan benda kerja. Maka pada penelitian ini dilakukan pengujian akurasi mesin dengan cara menggerakkan sumbu dengan *software* dengan jarak tertentu kemudian mengukur jarak pergerakannya pada mesin.

Pada motor sumbu X, Y dan Z memiliki akurasi yang sama seperti pada mesin CNC TU-3A sebelumnya yaitu untuk bergerak 1 mm membutuhkan 72 *step* dari motor *stepper*. Untuk mengukur tingkat akurasi pergerakan sumbu digunakan dial indikator yang disentuhkan pada ujung sumbu sebagai alat untuk menghitung jarak pergerakan sumbu. Pada sumbu A menggunakan perbandingan besar sudut dan diameter. Data akurasi yang didapatkan dalam pengujian dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Akurasi pergerakan sumbu mesin CNC

| Sumbu | Pengujian | | | | Akurasi |
|-------|------------|---------------|-------------|---------------|---------|
| | 1 (2mm) | 2 (3,5 mm) | 3 (4 mm) | 4 (4,5 mm) | |
| X | 1,98 mm | 3,47 mm | 3,96mm | 4,47mm | 99,2% |
| Y | 1,95 mm | 3,46 mm | 3,98mm | 4,43mm | 98,7% |
| Z | 1,97mm | 3,48 mm | 3,95mm | 4,48mm | 99,2% |
| Sumbu | 10° | 20° | 25° | 30° | |
| A | 10° | 19,8° | 24,7° | 29,7° | 99% |

b) Proses Pemesinan

Pada pengujian penulis menggunakan program *g-code* yang dihasilkan oleh *software* Mastercam® X4 yang kemudian di-load ke *software* untuk proses pengeditan dan eksekusi pada mesin. Benda kerja yang digunakan pada pengujian penelitian ini untuk menguji mesin CNC adalah lilin yang berbentuk silinder dengan diameter 30 mm dan panjang 100 mm.

c) Program G-Code

Program *g-code* yang digunakan untuk pengujian mesin. Program *g-code* kemudian dimasukkan ke *software* Mach®3 untuk dieksekusi pada mesin dan menjalankan proses pemesinan sesuai dengan kode perintah pada program *g-code*.

d) Menentukan Titik Nol Benda Kerja

Sebelum melakukan pemotongan terlebih yang harus dilakukan adalah menentukan titik nol benda kerja sebagai titik awal proses pemotongan yang akan dilakukan. Dalam penelitian ini penulis menentukan titik nol dari *software* Mach®3 secara manual dengan menggerakkan sumbu-sumbu pada mesin CNC.

e) Hasil Proses Pemesinan

Setelah proses pemesinan selesai maka didapatkan hasil proses pemotongan yang sesuai dengan program yang dibuat, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Hasil proses pemesinan mesin CNC 4 axis

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Akurasi mesin CNC untuk sumbu X adalah 99,9%, Y=98,7%, Z=99,2% dan sumbu A sebesar 99%.
2. Pengujian sistem pemotongan 4 axis mesin CNC dapat berjalan sesuai dengan program *g-code* yang dimasukkan dengan tingkat akurasi 99,2%.

3. Mesin dapat melakukan proses pemesinan sesuai program yang dihasilkan *software* CAM walaupun perlu penyesuaian terlebih dahulu karena keterbatasan rotasi sumbu A.

Daftar Pustaka

- [1] Bailar, Sebastian, 2011." 4 Axis TB6560 CNC Stepper Motor Driver Board Controller", termuat di http://reprap.org/wiki/4_Axis_TB6560_CNC_Stepper_Motor_Driver_Board_Controller, diakses 1 Agustus 2012.
- [2] Groover, Mikell P., Zimmers, JR, Emory W., 1983. *CAD/CAM: Computer-Aided Design and Manufacturing*, Department of Industrial Engineering, Lehigh University.
- [3] Hanief, Fithrul. 2009. Pembuatan Program Pengendali Stepper Motor Pada Mesin CNC TU-3A Dengan Menggunakan Microsoft Visual Basic 6.0, *Tugas Akhir Teknik Mesin*, Unsyiah, Banda Aceh.
- [4] Krisnandi, Dikdik., *Aplikasi Kontrol Switch Menggunakan Silicon Controlled Rectifier (SCR) Melalui Parallel Port*, Pusat Penelitian Informatika Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bandung.
- [5] Maier, Emco and Co., 1990. *Student's Handbook Emco TU-3A*, Friedmann-Maier-Straße 9, Austria.
- [6] Mujahidin., *Parallel Port Pogramming*, Universitas Gunadarma, Jakarta hlm 2-4.
- [7] Rochim, Taufik. 1993. *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*, Laboratorium Teknik Produksi, Jurusan Mesin, FTI-ITB, Bandung.
- [8] Santoso, Tatak Basuki Riandono., 2006. Rancang Bangun Sistem Keamanan Parkir Berpassword, *Proyek Akhir Teknik Telekomunikasi*, Politeknik Elektronika Surabaya, Surabaya.
- [9] Tambunan, Tigor., 2006. *Belajar Sendiri Mastercam Versi 9*, Elexmedia Komputindo, Jakarta.
- [10] Utomo, Muhammad Eko., 2008. Desain dan Implementasi Kontrol Kecepatan Mode Sinus Motor Stepper Menggunakan Mikrokontroler ATMEGA8, *Tugas Akhir Teknik Elektro*, Institut Teknologi Telkom, Bandung.
- [11] Widarto. 2008. *Teknik Pemesinan untuk Sekolah Menengah Kejuruan*, Departmen Pendidikan Nasional, Jakarta.