

Terbit online pada laman web jurnal : <http://metal.ft.unand.ac.id>

# METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal

| ISSN (Print) 2598-1137 | ISSN (Online) 2597-4483 |



Artikel Penelitian

## Rancang Bangun Mesin CNC 2 Sumbu

*Firman Ridwan, Arif Novriheldi*

*Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang*

### INFORMASI ARTIKEL

#### Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 04 Agustus 2017

Revisi Akhir: 01 September 2017

Diterbitkan: 31 Oktober 2017

### KATA KUNCI

CNC

Manufacturing

stepper motor

precision

product

### KORSPONDENSI

E-mail: [firmanridwan@ft.unand.ac.id](mailto:firmanridwan@ft.unand.ac.id)

### A B S T R A C T

Nowadays, high accuracy and precision of products have become a major requirement by the manufacturer. It can only be achieved by using a controlled machine such as CNC machine. On the other hand, most of home industries have conventional production machines and manually operated. Unavailable precision machines cause difficulties to achieve such products. In most cases, capability of home industries to buy high cost machines is limited. Therefore, it is then to be the backdrop of designing a simple construction and its control system for a low cost CNC plasma cutting machine. A low cost CNC plasma cutting machine was designed and expected to be reliable in controlling the movement of the axis precisely during cutting process. The result of this study showed that the machine was capable of achieving the following levels of precision up to 0.05 mm for the X-axis with a deviation of 0.04 mm. Meanwhile the Y axis was obtained up to 0.08 mm with a deviation of 0.057. The results indicate that the achieved accuracy is higher compared to the manual cutting.

## 1. PENDAHULUAN

Dunia industri sedang berkembang pesat saat ini di tanah air. Perkembangan ini tak lepas dari kebutuhan konsumen yang menginginkan produk-produk dengan kualitas yang tinggi. Hal ini juga terjadi pada industri manufaktur dimana konsumen menginginkan produk dengan ketelitian dan kepresisian yang tinggi.

Ketelitian dan kepresisian yang tinggi ini dapat disuguhkan oleh *workshop* di industri manufaktur yang telah memiliki mesin-mesin yang handal dan bekerja secara otomatis seperti mesin dengan kontrol CNC atau *Computer Numerical Controlled*. Namun mesin-mesin CNC ini hanya dimiliki oleh *workshop* pada industri-industri besar.

Kondisi ini bertolak belakang dengan *workshop-workshop* kecil yang hanya memiliki mesin produksi konvensional. Mesin produksi konvensional ini memiliki ketelitian dan kepresisian yang bergantung pada kehandalan operator penggerakannya. Contohnya yaitu pada proses pemotongan baja yang selama ini menggunakan proses konvensional dan dilakukan secara manual seperti metode pemotongan dengan gas *Oxy-Acetylene*. Pemotongan menggunakan metode ini menghasilkan permukaan yang kasar dan tidak beraturan, sehingga dibutuhkan proses lanjutan untuk membentuk permukaan yang lebih halus dan sesuai desain. Namun proses tambahan ini juga dikerjakan secara manual. Jadi dapat dipastikan juga bahwa hasilnya akan tergantung pada kehandalan operatornya.

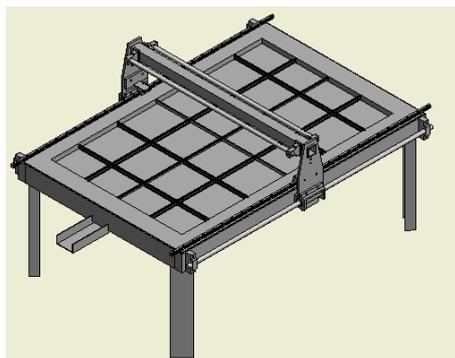
Keterbatasan dalam hal ketelitian tersebut dapat diatasi dengan sebuah mesin CNC yang digunakan untuk proses pemotongan. Namun pada umumnya *workshop* kecil ini mempunyai keterbatasan dalam hal biaya untuk membeli sebuah mesin CNC, karena mesin CNC komersial memiliki harga yang relatif lebih mahal dibandingkan mesin konvensional.

Hal ini kemudian melatarbelakangi pembuatan sebuah konstruksi sederhana serta sistem otomasi untuk sebuah mesin CNC yang nantinya dapat digunakan untuk membantu proses pemotongan plat baja. Konstruksi yang dibuat diharapkan memiliki harga yang lebih murah, namun memiliki performa yang cukup baik.

## 2. METODOLOGI

Pembuatan konstruksi dan sistem otomasi untuk mesin CNC ini melalui tiga tahapan utama, yaitu perancangan, pemilihan komponen dan perakitan. Pada proses perancangan, terdapat dua hal yang harus dirancang. Perancangan tersebut meliputi konstruksi dan elemen kontrol.

Perancangan konstruksi diawali dengan membuat desain tiga dimensi konstruksi tersebut menggunakan *software* Autodesk Inventor Student Edition. Pembuatan desain ini meliputi desain dari ketiga sumbu dari mesin CNC yang akan dibuat. Konstruksi yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 1.



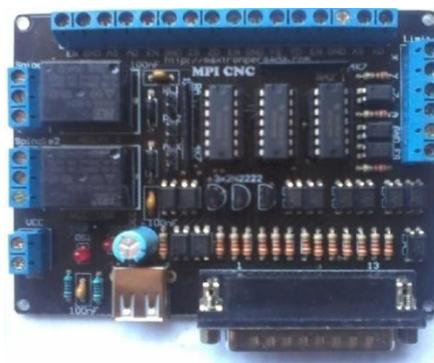
Gambar 1. Perancangan Konstruksi Mesin CNC

Setelah perancangan konstruksi didapatkan maka tahap selanjutnya adalah mengubah konstruksi tersebut kedalam bentuk nyata. Proses yang dilakukan meliputi pengelasan, proses *turning* dan lain-lain.

Proses selanjutnya yaitu perancangan elemen kontrol. Pada tahap ini elemen kontrol yang digunakan yaitu sebuah *Personal Computer* (PC), motor, *driver* motor dan sistem transmisi serta *guide ways*.

Proses selanjutnya adalah pemilihan elemen kontrol yang digunakan. Pemilihan elemen kontrol ini disesuaikan dengan kebutuhan desain konstruksi dan ketersediaan di pasar. Untuk elemen kontrol yang perlu dipersiapkan terlebih dahulu yaitu sebuah Breakout Board atau BOB. BOB diperlukan untuk membagi sinyal dari sebuah PC kepada *driver* masing-masing sumbu mesin CNC. Bentuk fisik dari BOB dapat dilihat pada Gambar 2.

Pada BOB terdapat sebuah *parallel port* dan USB *port* yang menghubungkan BOB dengan sebuah PC. Kedua port tersebut dapat digunakan untuk menghubungkan PC dengan BOB, namun penggunaan *parallel port* dianjurkan dikarenakan kemudahan dalam mengatur pin-pin untuk *input signal* pada program pengontrol mesin CNC. Hal ini kemudian menjadi salah satu syarat penting dari sebuah PC, dimana PC yang digunakan dianjurkan memiliki sebuah *parallel port*.

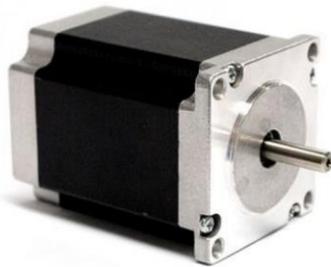


Gambar 2. Breakout Board (BOB)

Selanjutnya yaitu pemilihan motor dan *driver*. Motor yang digunakan yaitu dua jenis motor *stepper* yang tersedia banyak di pasaran. Terdapat dua jenis motor yang digunakan dalam konstruksi ini. Perbedaan motor ini dilandasi oleh perbedaan beban yang akan diangkat oleh ketiga motor pada setiap sumbu. Sumbu y dan sumbu z memiliki beban yang lebih ringan dibandingkan dengan sumbu x, sehingga motor sumbu x memiliki torsi yang lebih besar. Pada pembuatan mesin ini motor untuk sumbu y dan sumbu z yaitu motor *stepper* Nema 23 270oz-Inch (Gambar 3a), sedangkan untuk motor sumbu x digunakan motor *stepper* Nema 34 1200oz-Inch. (Gambar 3b).

Setelah pemilihan motor dilakukan, maka tahap selanjutnya yaitu pemilihan *driver*. Pemilihan *driver* ini dilakukan dengan menyesuaikan motor yang dipilih karena masing-masing motor memiliki spesifikasi yang berbeda. Untuk motor Nema 23 dipilih *driver* TB6600 (Gambar 4a), sedangkan untuk motor Nema 34 dipilih *driver* CW 8060 (Gambar 4b).

Proses selanjutnya yaitu pemilihan transmisi. Transmisi digunakan untuk meneruskan daya atau putaran dari motor dan mengubah gerak rotasi motor menjadi gerak linear. Pada pembuatan mesin ini diharapkan hasil yang didapatkan memiliki ketelitian yang tinggi, sehingga digunakan ball screw sebagai transmisinya. Ballscrew adalah transmisi yang tidak mempunyai backlash, sehingga ketelitian gerakannya sangat tinggi dan sesuai dengan putaran motor yang diberikan.

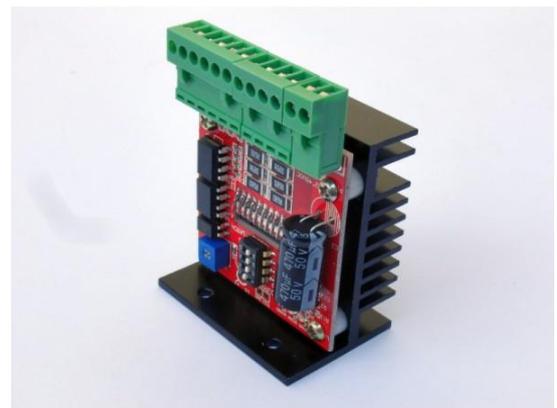


a. Nema 23 270oz-Inch

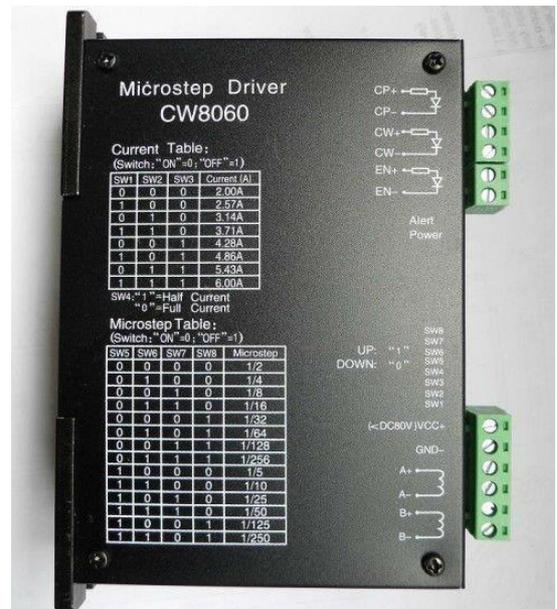


b. Nema 34 1200oz-Inch

Gambar 3. Motor *Stepper* untuk penggerak



a.Driver TB 6600



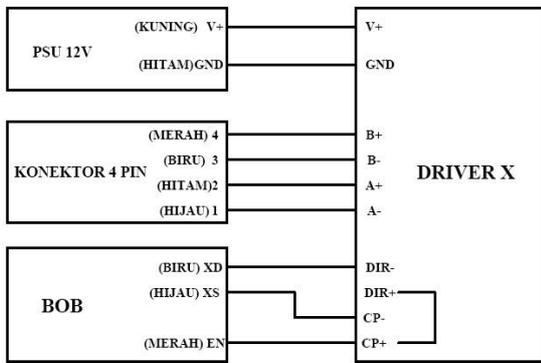
b.Driver CW 8060

Gambar 4. Driver penggerak motor stepper

Selain transmisi dan motor juga diperlukan coupling untuk menghubungkan motor dengan batang transmisi. Pada pengerjaan konstruksi ini, seluruh proses perakitan dilakukan secara manual, sehingga memungkinkan adanya *miss alignment* antara motor dan transmisi. Untuk mengatasinya, digunakan *flexible coupling* yang dapat mentolerir *miss alignment* tersebut.

Setelah pemilihan transmisi dilakukan, maka tahapan selanjutnya yaitu pemilihan *slider*. *Slider* berfungsi untuk mengarahkan gerak mesin pada setiap sumbu nya. Pada mesin ini digunakan dua buah linear bearing pada sumbu x dan sumbu y serta sebuah silinder pejal sebagai jalurnya. Pemilihan *linear bearing* dilakukan karena kemudahan dalam mendapatkannya di pasaran dan harganya yang relatif lebih murah.

Setelah semua komponen didapatkan, maka dilakukan perakitan semua komponen. Untuk elemen seperti *driver* dan BOB, perakitan yang dilakukan adalah seperti yang dpat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Konfigurasi *Wiring Driver*, BOB dan Motor *Stepper*

Untuk perakitan konstruksi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Konstruksi Mesin CNC

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah pembuatan mesin dilakukan, diperlukan parameter untuk benda kerja yang dapat dikerjakan oleh mesin. Untuk area kerja tersebut ditinjau dari masing-masing sumbu yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Area kerja dalam sumbu x} &= \text{Panjang meja kerja} \\ &\quad \text{lebar slider sumbu x} \\ &= 150 \text{ cm} - 15 \text{ cm} \\ &= 135 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Area kerja dalam sumbu y} &= \text{Jarak antar bearing} - \\ &\quad \text{panjang nut} \\ &= 87 \text{ cm} - 4 \text{ cm} \\ &= 83 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Area kerja dalam sumbu z} &= \text{Panjang linear} \\ &\quad \text{guide} - \text{panjang nut} \\ &\quad \text{sumbu Z} \\ &= 10 \text{ cm} - 3 \text{ cm} \\ &= 7 \text{ cm} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan area kerja masing-masing sumbu maka dilakukan pengaturan transmisi. Pengaturan transmisi ini dilakukan untuk mengatur jumlah putaran motor yang diperlukan agar mesin bergerak sejauh jarak yang diinginkan. Untuk pengaturan tersebut dibutuhkan data sebagai berikut:

- Sumbu X
  - Motor *Stepper* = 1,8 deg/step 5 Ampere
  - Pitch ball screw = 5 mm
  - Microstep = 1/8 subdivision

- Sumbu Y  
 Motor Stepper = 1,8 deg/step 3 Ampere  
 Pitch ball screw = 5 mm  
 Microstep = 1/8 subdivision
- Sumbu Z  
 Motor Stepper = 1,8 deg/step 3 Ampere  
 Pitch ball screw = 10 mm  
 Microstep = 1/8 subdivision

Setelah mengetahui beberapa parameter tersebut, nilai yang akan dimasukkan pada *motor tuning* dapat dihitung dengan mencari *step per revolution* dan *step per unit*. Berikut persamaan untuk menghitung *step per revolution* dan *step per unit*:

a. *Step per revolution*

Persamaan:

$$\frac{360 \text{ degree}}{1 \text{ revolution}} \times \frac{\text{step}}{\text{degree}} = \frac{\text{step}}{\text{revolution}}$$

b. *Step per unit*

Persamaan:

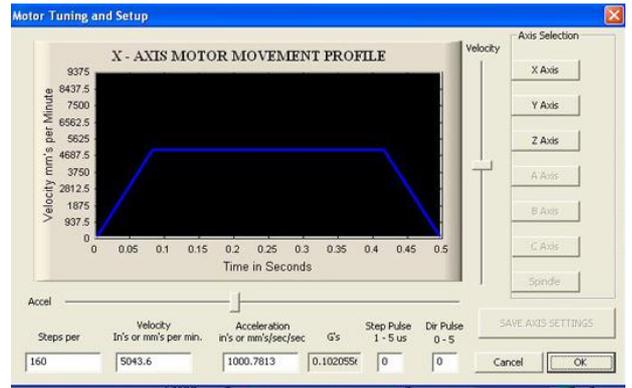
$$\frac{\text{revolution}}{\text{pitch (mm)}} \times \frac{1}{\text{microstep}} \times \frac{\text{step}}{\text{revolution}} = \frac{\text{step}}{\text{unit (mm)}}$$

Dari persamaan tersebut, dapat dihitung *step per unit*. Hasil perhitungan *step per unit* pada setiap sumbu dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Data Konfigurasi *Motor Tuning*

Sumbu	Deg / step	Step / revolution	Pitch ( mm)	Micro step	Step / unit ( mm)
X	1.8	200	5	0.13	320
Y	1.8	200	5	0.13	320
Z	1.8	200	10	0.13	160

Nilai yang didapat pada Tabel 1 selanjutnya dimasukkan ke dalam pengaturan *motor tuning* pada Mach 3 pada setiap sumbu seperti yang dapat dilihat pada Gambar 7.

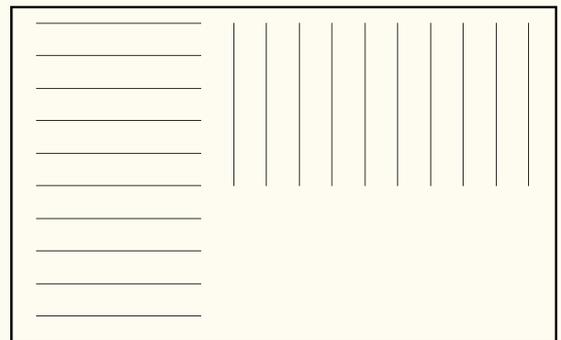


Gambar 7. Mach 3 *Motor Tuning and Setup*

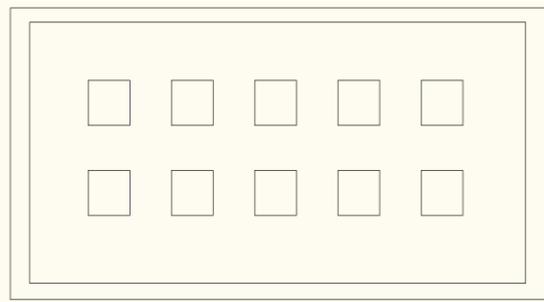
Setelah pengaturan *motor tuning*, kemudian dilakukan pengaturan lainnya seperti *input signal* dan *output signal*. Pengaturan ini disesuaikan dengan pin yang digunakan pada BOB.

Tahapan selanjutnya yaitu pengujian kinerja mesin. Pengujian yang dilakukan memiliki tiga tujuan, yaitu untuk mengetahui ketelitian mesin, untuk mengetahui kepresisian mesin dan untuk mengetahui kinerja mesin saat membentuk geometri yang lebih rumit.

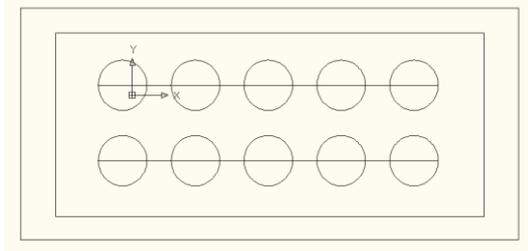
Pengujian diawali dengan membuat gambar pada AutoCAD. Skema pengujian ketelitian dapat dilihat pada Gambar 8, sedangkan untuk pengujian kepresisian persegi dapat dilihat pada Gambar 9a sedangkan pengujian kepresisian lingkaran dapat dilihat pada Gambar 9b.



Gambar 8. Desain Sampel Pengujian Ketelitian



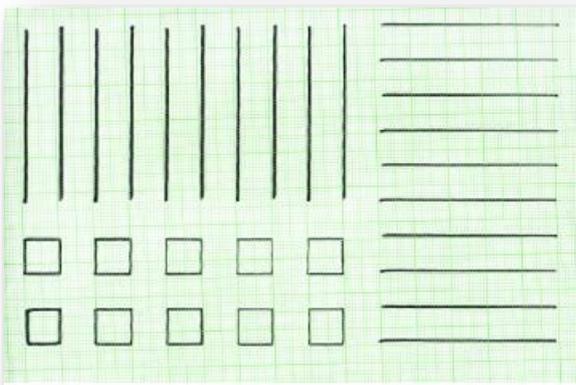
a. Keterulangan persegi



b. Keterulangan lingkaran

Gambar 9. Desain Sampel

Gambar sampel pengujian selanjutnya diubah menjadi G-Code melalui program MasterCAM. Setelah G-Code didapatkan, maka G-code tersebut dimuat kedalam Mach3. Tahap selanjutnya G-Code tersebut dieksekusi untuk melihat kinerja mesin. Pada Gambar 10 diperlihatkan hasil pengujian ketelitian sumbu x dan y serta keterulangan persegi.



Gambar 10. Hasil pengujian ketelitian sumbu x dan y Serta keterulangan persegi

Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan gambar yang memperlihatkan *tool path* atau lintasan *tool* yang akan dipasang pada mesin ini.

Langkah selanjutnya yaitu mengukur gambar yang didapatkan untuk mengetahui performa dari mesin yang telah dibuat.

Pengukuran pertama-tama dilakukan untuk melihat ketelitian alat. Ketelitian adalah kesesuaian nilai yang didapatkan dari pengukuran dengan nilai yang diberikan pada desain. Maka dari itu perhitungan dilakukan dengan mencari standar deviasi dari nilai terukur terhadap nilai pada desain. Pengujian ketelitian dilakukan untuk melihat ketelitian pada setiap sumbu. Pada Tabel 2 dan Tabel 3 diperlihatkan hasil pengujian ketelitian sumbu x dan sumbu y.

Tabel 2. Hasil pengujian ketelitian sumbu x

No	Ukuran Desain ( mm )	Ukuran Sampel ( mm )	penyimpangan (x) ( mm )	Rata-Rata Penyimpangan (x <sub>i</sub> ) ( mm )	(x-x <sub>i</sub> ) ( mm )	(x-x <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> ( mm )
1	50	49.98	-0.02	-0.052	0.032	0.001024
2	50	50	0	-0.052	0.052	0.002704
3	50	49.9	-0.1	-0.052	-0.048	0.002304
4	50	49.92	-0.08	-0.052	-0.028	0.000784
5	50	49.92	-0.08	-0.052	-0.028	0.000784
6	50	50	0	-0.052	0.052	0.002704
7	50	49.9	-0.1	-0.052	-0.048	0.002304
8	50	49.94	-0.06	-0.052	-0.008	6.4E-05
9	50	49.92	-0.08	-0.052	-0.028	0.000784
10	50	50	0	-0.052	0.052	0.002704
Jumlah						0.01616

Tabel 3. Hasil Pengujian Ketelitian Sumbu y

No	Ukuran Desain ( mm )	Ukuran Sampel ( mm )	penyimpangan (y) ( mm )	Rata-Rata Penyimpangan (y <sub>i</sub> ) ( mm )	(y-y <sub>i</sub> ) ( mm )	(y-y <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> ( mm )
1	50	49.96	-0.04	-0.068	0.028	0.000784
2	50	49.98	-0.02	-0.082	0.062	0.003844
3	50	49.9	-0.1	-0.082	-0.018	0.000324
4	50	49.9	-0.1	-0.082	-0.018	0.000324
5	50	49.9	-0.1	-0.082	-0.018	0.000324
6	50	49.82	-0.18	-0.082	-0.098	0.009604
7	50	49.92	-0.08	-0.082	0.002	4E-06
8	50	50	0	-0.082	0.082	0.006724
9	50	49.94	-0.06	-0.082	0.022	0.000484
10	50	50	0	-0.082	0.082	0.006724
Jumlah						0.02914

Setelah ketelitian didapatkan maka dilakukan pengukuran kepresisian atau keterulangan. Keterulangan (*repeatability*) adalah kemampuan mesin untuk membuat produk dengan bentuk dan dimensi yang sama dari proses produksi yang dilakukan secara berulang. Pada penelitian ini,

Tabel 4. Hasil Pengujian Keterulangan Persegi

No	Sisi X (mm)	Sisi Y (mm)	Ukuran Desain x dan y	penyimpangan (x) (mm)	(x-x <sub>r</sub> ) (mm)	penyimpangan (y) (mm)	(y-y <sub>r</sub> ) (mm)	(x-x <sub>r</sub> ) <sup>2</sup> (mm)	(y-y <sub>r</sub> ) <sup>2</sup> (mm)
1	9.92	9.9	10	-0.08	-0.026	-0.1	-0.052	0.000676	0.01
2	10	9.9	10	0	0.054	-0.1	-0.052	0.002916	0.01
3	9.98	9.98	10	-0.02	0.034	-0.02	0.028	0.001156	0.0004
4	9.94	9.92	10	-0.06	-0.006	-0.08	-0.032	0.000036	0.0064
5	9.92	10	10	-0.08	-0.026	0	0.048	0.000676	0
6	9.98	9.94	10	-0.02	0.034	-0.06	-0.012	0.001156	0.0036
7	9.92	10	10	-0.08	-0.026	0	0.048	0.000676	0
8	10	10	10	0	0.054	0	0.048	0.002916	0
9	9.96	9.98	10	-0.04	0.014	-0.02	0.028	0.000196	0.0004
10	9.84	9.9	10	-0.16	-0.106	-0.1	-0.052	0.011236	0.01
Rata-Rata				-0.054		-0.048			
Jumlah								0.02164	0.0408

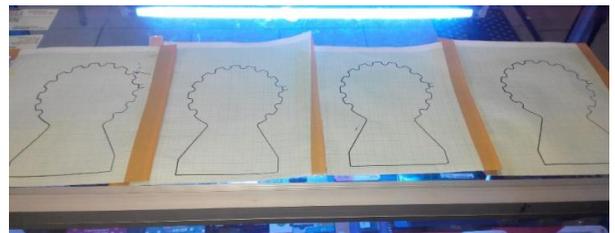
pengujian keterulangan dilakukan dengan membuat bentuk-bentuk sederhana. Tujuannya adalah agar hasil yang didapatkan mudah untuk dilakukan pengukuran. Pada Tabel 4 dan Tabel 5 diperlihatkan hasil keterulangan persegi dan lingkaran.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Keterulangan Lingkaran

No	Diameter Desain (mm)	Diameter Terukur (mm)	Penyimpangan (d) (mm)	(d-d <sub>r</sub> ) (mm)	(d-d <sub>r</sub> ) <sup>2</sup> (mm)
1	50	49.92	0.08	0.034	0.001156
2	50	49.96	0.04	-0.006	0.000036
3	50	49.88	0.12	0.074	0.005476
4	50	49.92	0.08	0.034	0.001156
5	50	49.92	0.08	0.034	0.001156
6	50	50	0	-0.046	0.002116
7	50	49.96	0.04	-0.006	0.000036
8	50	50	0	-0.046	0.002116
9	50	50	0	-0.046	0.002116
10	50	49.98	0.02	-0.026	0.000676
Rata-Rata			0.046		
Jumlah					0.01604

Pengujian selanjutnya yaitu untuk melihat kemampuan mesin mengerjakan geometri yang lebih rumit. Untuk itu dibuat sebuah pengujian keterulangan bentuk plakat roda gigi. Hasil yang didapatkan tidak diukur namun hanya dibandingkan secara kasat mata. Untuk hasil pengujian

keterulangan bentuk plakat roda gigi dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil Pengujian Keterulangan Plakat Roda Gigi

Dari hasil pengujian terhadap bentuk plakat roda gigi dapat dilihat bahwa mesin mampu memberikan hasil yang seragam pada pembuatan berulang. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa mesin memiliki keterulangan yang baik dengan bentuk yang lebih rumit.

#### 4. KESIMPULAN

Dari keseluruhan pembuatan konstruksi dan sistem otomasi untuk mesin CNC ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut: (1) Telah dihasilkan sebuah konstruksi sederhana serta sistem otomasi untuk mesin CNC yang dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang diinginkan. (2) Karakteristik dari mesin yang dihasilkan dapat

dilihat dari pengujian *toolpath* yang telah dilakukan.

Hasil pengujian yang telah dilakukan adalah:

a. Pengujian Ketelitian

Ketelitian sumbu X : 0,05 mm

Standar deviasi sumbu X : 0,04

Ketelitian Sumbu Y : 0,08 mm

Standar deviasai sumbu Y : 0,057

b. Pengujian Keterulangan

- Persegi

Standar deviasi keterulangan sisi sumbu

X: 0,049

Standar deviasi keterulangan sisi sumbu

Y: 0.067

- Lingkaran

Standar Deviasi keterulangan lingkaran:

0,04

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Medison. *CNC Machining Handbook*. Industrial Press INC: New York, 1996.
- [2] S. F. Krar, A. R. Gill. *Technology of Machine Tool*, Seventh Edison, Mc.Graw Hill International Edition, 2010.
- [3] D. W. Jones. *Control of stepping motor*, M Mc.Graw Hill International Edition, 2001.
- [4] W. H. Yeahdon. *Control of small Electric Motor*, Mc.Graw Hill International Edition, 2001.
- [5] X. Xu, and S. T. Newman. "Making CNC machine tools more open, interoperable and intelligent – a review of the technologies," *Computers in Industry*, Vol. 57, No. 2, pp. 141-152, 2006.
- [6] S. H. Suh, D. H. Chung, B. E. Lee, J. H. Cho, S. U. Cheon, H. D. Hong, dan H. S. Lee. "Developing an integrated STEP – compliant CNC prototype", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 21, No. 5, pp. 350-362, 2002.
- [7] X. Xu, dan Q. He. "Striving for a total integration of CAD, CAPP, CAM and CNC," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 20, No. 2, pp. 101-109, 2004.