



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

Analisa Produk Pola Cetakan Lilin yang Diproduksi Menggunakan DIY-CNC-Endmill

Firman Ridwan, Ryan Rahman

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang 25163, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 07 Agustus 2018

Revisi Akhir: 24 September 2018

Diterbitkan Online: 29 Oktober 2018

KATA KUNCI

Mesin CNC

Mesin CNC

End-Milling

KORESPONDENSI

E-mail: firmanridwan@ft.unand.ac.id

A B S T R A C T

The use of technology in ring jewelry manufacturers in Indonesia is still very limited. Ring jewelers still use traditional methods in the process of forming mold patterns. This causes difficulties in producing ring jewelry that requires precision and high accuracy on each product. Unprecised wax pattern of ring jewelry can result in dimensional errors when product is manufactured so the dimension is far from the size of the design. To avoid this, it can be overcome by using CNC machine technology. CNC machines can work consistently and precisely. For this reason, therefore, an End-Milling type CNC machines that has accuracy of up to 1/1000 mm is designed. The experiments showed that the results with high accuracy having standard deviation of repeatability of inner diameter 0.020736441, repeatability of outer diameter 0.020493902 and repeatability of thickness 0.043817805.

1. PENDAHULUAN

Perhiasan khususnya cincin tengah berkembang pesat di tengah-tengah pasar global saat ini, dimana *trend* permintaan pasar perhiasan cincin lebih dominan pada permintaan model desain, dibandingkan kuantitas ordernya [1]. Hal ini menuntut para desainer perhiasan cincin dapat membuat produk perhiasan cincin yang diterima pasar.

Faktanya produsen perhiasan cincin yang ada masih dapat dihitung dengan jari, itupun para desainernya masih mengandalkan pengalaman dalam proses produksinya, yang mana para desainer tersebut masih mengalami kesulitan dalam pembuatan produk dengan bentuk yang sama. Oleh karena itu untuk mendapatkan hasil produksi dengan keterulangan yang sama, maka

perlu adanya teknologi dalam pembuatan perhiasan cincin.

Cincin dapat dibuat dengan metoda *investment casting*. Dari cara *investment casting* di atas, pembuatan sebuah pola merupakan proses yang paling penting dalam tahap-tahap pengecoran dikarenakan bentuk, dimensi, dan geometri dari pola sangat mempengaruhi dari hasil akhir produk. Pembuatan pola cetakan *casting* terbagi atas 2 jenis yaitu, secara konvensional atau tradisional dan secara modern. Pada cara tradisional proses pembuatan pola cetakan cincin masih menggunakan peralatan-peralatan yang sederhana dan dibuat langsung dari tangan pengrajin. Sedangkan cara modern yaitu proses penambahan atau pemotongan bahan baku menjadi sebuah pola menggunakan mesin yang dikendalikan oleh komputer.

Mesin yang terkomputerisasi dapat membuat pola yang berulang dengan ukuran dan bentuk yang sama secara presisi. Salah satu peralatan modern yang dapat membuat pola ini adalah dengan mesin perkakas CNC (*computerized numerical control*). Mesin CNC dapat membuat pola perhiasan unik dan imajinatif, yang sulit dan bahkan tidak dapat dikerjakan hanya dengan keterampilan tangan pengrajin saja.

Dewasa ini pengrajin belum memiliki kemampuan untuk mengadopsi teknologi CNC untuk pembuatan pola dikarenakan beberapa hal, seperti (1) Mesin CNC khusus perhiasa sangat mahal. (2) Operator yang menjalankan CNC tidak banyak. Dengan alasan di atas pengrajin lebih cenderung membuat pola perhiasan dengan keterampilan tangan sehingga mehadapi masalah dengan *repeatability*.

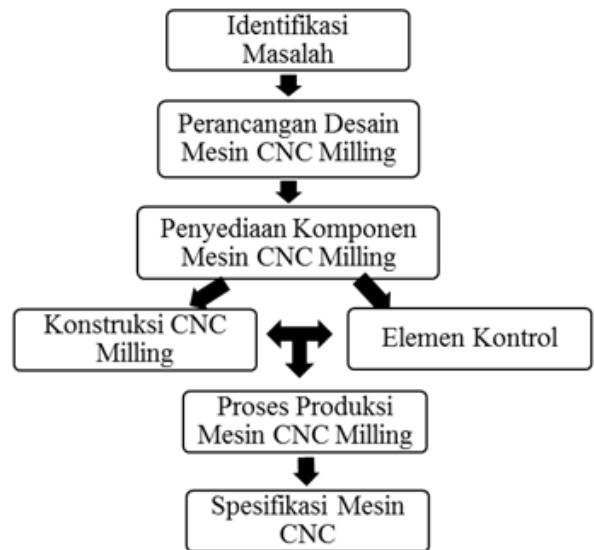
Berdasarkan fakta di atas, maka penulis berinisiatif membuat mesin CNC sendiri untuk membuat pola perhiasan khususnya cincin yang memiliki ketelitian dan keterulangan yang terukur. Pembuatan pola lilin dapat dilakukan dengan cara pemotongan pada bahan baku pola searah sumbu x, y, dan z sesuai pola desain pada CAD (*Computer-aided design*), dan proses *post-processor* pada CAM (*Computer-aided manufacturing*).

2. METODOLOGI

Skema tahapan perancangan dan pembuatan mesin CNC End-Milling dapat dilihat pada skema Gambar 1.

2.1. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dalam penelitian ini dimulai dengan melihat kondisi di lapangan dimana proses pembuatan pola dari perhiasan cincin masih menggunakan cara tradisional atau konvensional. Oleh karena itu, untuk mendapatkan hasil produksi dengan keterulangan yang sama, maka perlu adanya mesin perkakas yang terkomputerisasi (CNC) dalam pembuatan pola pada perhiasan cincin.



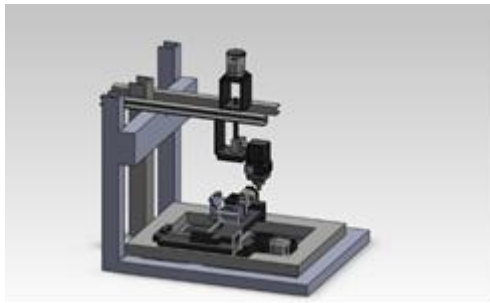
Gambar 1. Skema Perancangan dan Pembuatan Mesin CNC End-Milling

2.2. Perancangan Desain Mesin CNC End-Milling

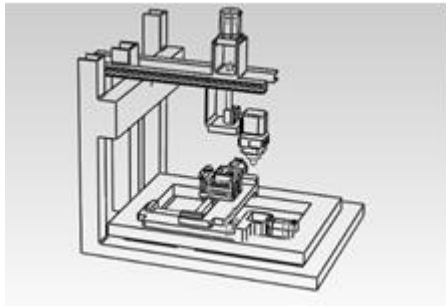
Dari identifikasi terhadap masalah yang ditemukan di lapangan, maka dilakukan proses desain mesin CNC End-Milling yang dapat memproduksi pola untuk perhiasan cincin. Desain mesin CNC End-Milling dibuat dengan mempertimbangkan beberapa aspek seperti:

- Dimensi mesin CNC End-Milling
- Sistem penggerak
- Sistem transmisi
- Sistem kontrol
- Proses pemesinan yang akan dilakukan
- Komponen yang diperlukan
- Material pendukung

Desain perancangan dan perencanaan mesin CNC EndEnd-Milling secara solid dan isometrik dapat dilihat pada Gambar 2.



(a)



(b)

Gambar 2. Hasil Rancangan Mesin CNC End-End-Milling: (a) Rancangan Solid Mesin CNC End-End-Milling; (b) Rancangan Isomerik Mesin CNC

2.3. Penyediaan Komponen Mesin CNC End-End-Milling

Pemilihan komponen mesin CNC End-End-Milling sangat mempengaruhi kinerja dari mesin. Dalam perancangan mesin CNC End-End-Milling ada beberapa komponen penting dari mesin CNC yang perlu dipertimbangkan yaitu kegunaan dari komponen, ketangguhan komponen, dan ketersediaan komponen di pasar. Komponen yang akan digunakan pada mesin CNC End-End-Milling dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Tool

Tool pada mesin CNC End-End-Milling berfungsi sebagai pemotong yang akan berkontak langsung dengan benda kerja. Putaran Spindel menggunakan PCB *drill* atau bor mini sebagai motor pemutar pahat untuk memotong bagian benda kerja. PCB *Drill* memiliki tegangan 12V DC dan menghasilkan putaran pahat sebesar 1400RPM, sehingga sudah cukup kuat untuk memotong lilin paraffin.

2. Motor

Motor yang akan digunakan sebagai penggerak sistem transmisi adalah motor stepper. Motor stepper yang digunakan adalah Vexta PK-569-A. Motor stepper Vexta PK-569-A memiliki putaran sudut terkecil sebesar 0.72° dengan masukan arus sebesar 1.4 A/stepnya serta memiliki torsi sebesar 16 Kg/cm sehingga motor stepper ini memiliki ketelitian yang cukup tinggi.

3. Driver motor

Driver motor merupakan suatu rangkaian khusus yang memiliki fungsi untuk mengatur arah ataupun kecepatan dari motor stepper. Driver motor yang dipilih sesuai dengan motor stepper PK-569 A adalah Super Vexta UDK5114N.

4. Transmisi

Transmisi yang digunakan untuk mesin sangat mempengaruhi ketelitian dari mesin tersebut. Pada umumnya mesin CNC menggunakan *ball screw* sebagai transmisi. *Ball screw* memiliki ketelitian yang tinggi dikarenakan gaya gesek yang terjadi sedikit lebih kecil dari pada *lead screw*.

5. Personal Computer (PC)

Dalam pengontrolan melalui PC dibutuhkan sebuah program yang digunakan untuk menjalankan G-Code pada mesin CNC. Program yang digunakan adalah Mach 3 yang kompatibel dengan Windows XP pada Microsoft dan EMC2 pada Linux.

6. Motion Kontrol Hardware

Motion Kontrol Hardware merupakan komponen yang berfungsi untuk mengkomunikasikan antara kontrol dengan aktuator serta memperkuat sinyal keluaran dari kontroler. Dalam perancangan element kontrol ini menggunakan motion kontrol hardware berupa *Breakoutboard* untuk mesin CNC 3 Axis.

2.4. Konstruksi mekanik mesin CNC End-End-Milling

a. Sumbu Z

Sumbu Z pada mesin CNC End-End-Milling berfungsi untuk mengatur naik turunnya *tool*

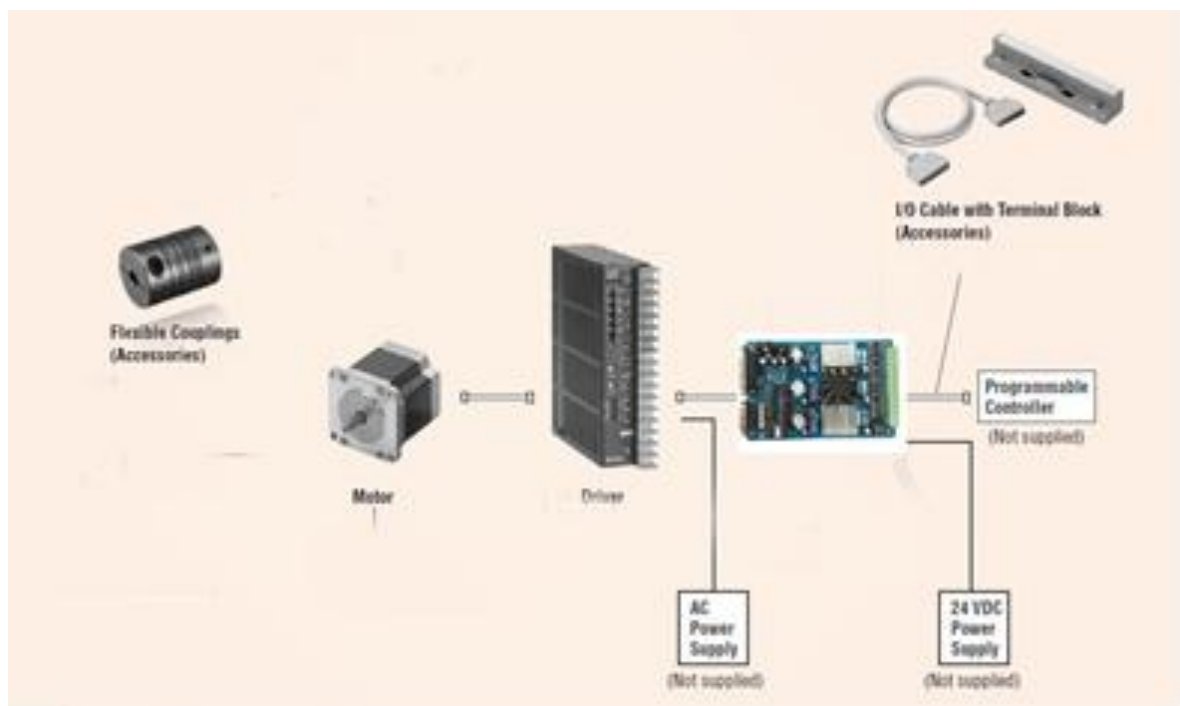
atau mengatur kedalaman makan dari mesin. *Tool* digerakkan oleh motor stepper dan ditransmisikan oleh screw.

- b. Sumbu Y
Sumbu Y pada mesin CNC End-Milling berfungsi untuk menggerakkan Meja Kerja kekiri dan kekanan.
- c. Sumbu X
Sumbu X pada mesin CNC End-Milling berfungsi untuk menggerakkan komponen sumbu Y kedepan dan kebelakang.
- d. Meja kerja
Meja kerja pada mesin CNC End-Milling berfungsi untuk letak benda kerja. Meja kerja

dibuat untuk dapat mencengkrum benda kerja sehingga kesalahan akibat pergeseran yang ditimbulkan akibat getaran selama proses produksi dapat diminimalisir.

2.5. Elemen Kontrol

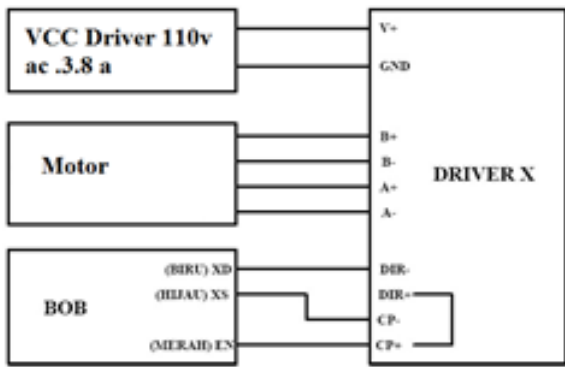
Elemen kontrol pada Mesin CNC End-Milling digunakan untuk mengendalikan, memerintah, dan mengatur posisi dari sumbu axis mesin CNC. Proses pengkabelan elemen kontrol CNC End-Milling dapat dilihat pada skema Gambar 3.



Gambar 3. Skema Wiring CNC End-Milling [15]

- a. *Programable control*
Programable control yaitu menghubungkan *interface parallel port* pada komputer dengan motion kontrol hardware (*Breakoutboard CNC MPI*). Data yang dikirim software CAM bukanlah pulse dan arah (*direction*), melainkan data koordinat yang harus dituju menggunakan data biner.
- b. *Wiring Breakoutboard*

Breakoutboard (BOB) adalah *card electronic* yang berfungsi menghubungkan sinyal data dari komputer dengan peripheral input maupun output. BOB merupakan komponen utama yang digunakan untuk merakit mesin CNC yang menghubungkan sinyal data dari komputer menuju driver atau relay. Skema koneksi *wiring* BOB, power suplay dan driver vexta UDK5114 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema BreakoutBoard CNC MPI [15]

c. Wiring driver motor

Driver motor disini berfungsi sebagai kontroler. Sinyal dari komputer diterjemahkan oleh Breakoutboard kemudian driver motor mengolah data tersebut. Driver motor berfungsi sebagai otak dari sistem untuk kemudian sinyal tersebut diteruskan pada motor sebagai aktuator, sehingga dapat mengatur arah serta kecepatan putaran motor.

2.6. Proses Produksi Mesin CNC End-Milling

Proses produksi dilakukan untuk mewujudkan bentuk nyata dari perancangan yang telah ada. Pada perancangan mesin CNC End-Milling, proses produksi yang digunakan adalah proses pengelasan, perakitan batang dengan menggunakan baut dan pembuatan ulir dalam pada dasar konstruksi. Setelah pembangunan konstruksi mesin CNC End-Milling, selanjutnya adalah menggabungkan antara mesin CNC dan elemen kontrol sesuai rangkaian skema yang ada sehingga mendapatkan spesifikasi dari mesin CNC End-Milling.

2.7. Spesifikasi Mesin CNC End-Milling

Spesifikasi dari mesin CNC End-Milling dibuat berdasarkan spesifikasi tiap komponen, perhitungan mendasar dan percobaan awal yang dilakukan untuk mendapatkan kinerja optimal dari mesin CNC End-Milling. Spesifikasi dari mesin CNC End-Milling secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Mesin CNC End-Milling

D i m e n s i	Konstruksi	Parjang	690 mm	Motor	Beban maksimal	1.0kg
		Lebar	600 mm		Torsi	16.6 kg cm
		Tinggi	600 mm		Arus Input	1.4 A/phase
	Transmisi	Sumbu X dan Y	300 mm		Kecepatan maksimal	1000cm/min
		Sumbu Z	150 mm		Sudut per langkah	Half=0.72 deg Full = 0.36 deg
		Diameter serw	15 mm		Spindel	Kecepatan
		Lebar pitch	4 mm	Ukuran pahat		1mm
	Meja Kerja	Parjang	110 mm	power Source	komputer	100 watt
		Lebar	80 mm		driver motor	110 V 4.8 a
		Tinggi	70 mm		BOB	12V 2a
Tinggi max.penjepit	20 mm	Motor stepper	3.8 V 1.4 a			
Area Kerja	Sumbu X	220mm	Spindel	12v 2 a	Daya	581 Watt
	Sumbu Y	200mm				
	Sumbu Z	90mm				

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

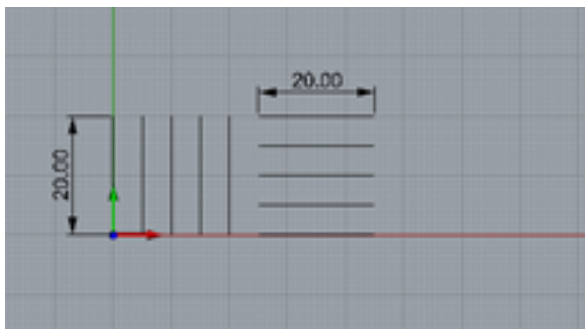
Setelah penulis melakukan perancangan, pembuatan dan mengkalibrasi mesin CNC End-Milling, tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian serta proses produksi pola cetakan cincin dari material lilin. Pengujian dilakukan untuk mengetahui ketepatan dan keterulangan dari mesin CNC End-Milling. Perhitungan mengenai ketepatan dan keterulangan dari mesin CNC End-Milling diperlukan agar mesin CNC End-Milling dapat dioperasikan dengan optimal.

3.1. Pengujian Ketepatan dan Keterulangan Mesin CNC

Pada pengujian ketepatan dan keterulangan ini, pahat (*tool*) pada mesin CNC End-Milling digantikan dengan pena. Sedangkan, benda kerja yang digunakan adalah kertas milimeter. panjang dari lintasan *tool* yang didapatkan dari pengujian diukur menggunakan jangka sorong.

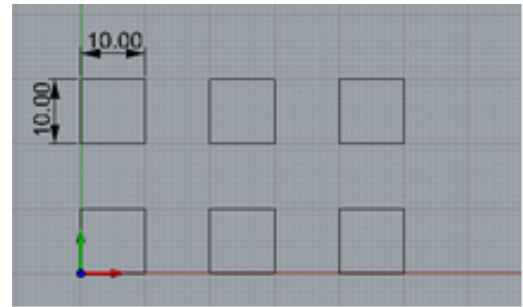
3.1.1. Desain Sampel Pengujian

Desain sampel pengujian ketepatan berupa gambar garis lurus yang sejajar dengan sumbu X dan sumbu Y dengan panjang 20 mm. Desain sampel pengujian ketepatan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Desain Sampel Pengujian Ketepatan

Desain sampel pengujian keterulangan berupa gambar persegi dan lingkaran.. Desain sampel pengujian keterulangan dapat dilihat pada Gambar 6.



(a)



(b)

Gambar 6. (a) Desain Sampel Keterulangan Persegi dan (b) Desain Sampel Keterulangan Lingkaran

3.1.2. Hasil Pengujian Sampel

Karakteristik ketepatan dan keterulangan dari mesin CNC End-Milling yang didapatkan melalui pengujian sampel adalah sebagai berikut:

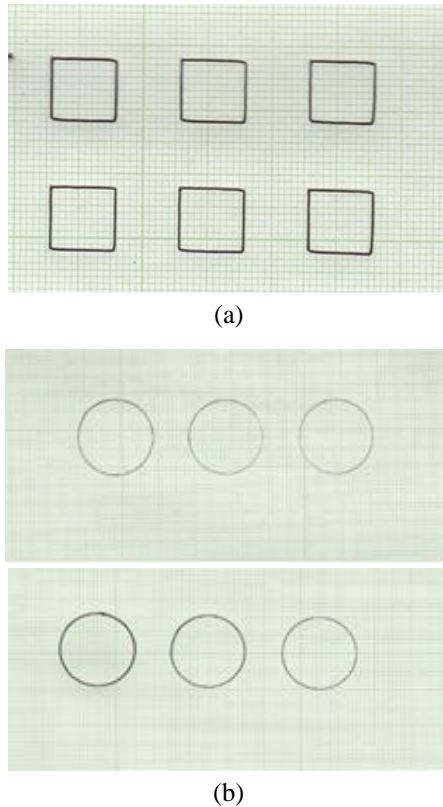
1. Sampel untuk pengujian ketepatan
Hasil pengujian ketepatan yaitu berupa garis lurus *vertikal* dan *horizontal* sebanyak lima garis pada masing-masing sumbu. Hasil pengujian ketepatan sumbu X dan Y dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hasil Pengujian Vertikal dan Horizontal

2. Sampel untuk pengujian keterulangan

Hasil pengujian keterulangan yaitu berupa gambar persegi dan lingkaran. Pengujian keterulangan dilakukan enam kali perulangan pada setiap sampel pengujian. Hasil pengujian keterulangan persegi dan lingkaran dapat dilihat pada Gambar 8.



3.1.3. Data Hasil Pengujian

Gambar 8 memperlihatkan lintasan tool sesuai desain. Kemudian, lintasan tool diukur untuk memperoleh nilai ketepatan dan keterulangan dari mesin CNC End-Milling. Tujuan pengukuran ini adalah untuk membandingkan hasil nilai terukur pada gambar dengan nilai sebenarnya pada desain yang telah dibuat.

1. Pengujian Ketepatan

Pengujian ketepatan dilakukan untuk melihat nilai ketepatan sumbu X dan Y pada CNC End-Milling., Perhitungan ditentukan dengan mencari penyimpangan rata-rata dari nilai terukur terhadap nilai pada sampel atau disebut juga *Standard Error (Se)*. Pada sumbu X didapatkan data pengukuran seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.

$$Se = \sqrt{\frac{Se}{n}} \tag{1}$$

$$Se = \sqrt{\frac{0.016733201}{5}}$$

$$Se = 0,0579$$

Gambar 8. Hasil Pengujian Persegi dan Lingkaran

Tabel 2. Hasil Pengujian Ketepatan Sumbu X

No.	Ukuran Sampel Desain (mm)	Ukuran Sampel (mm)	Penyimpangan (x) (mm)	(x-x _r) ² (mm)
1	20	20	0	0.000256
2	20	20	0	0.000256
3	20	20.02	0.02	1.6E-05
4	20	20.02	0.02	1.6E-05
5	20	20.04	0.04	0.000576
Jumlah			0.08	0.00112
Rata-Rata			0.016	
Standar Deviasi			0.016733201	

Nilai ketepatan mesin CNC End-Milling dapat dihitung dengan melihat besarnya standar deviasi dari hasil rata-rata perbandingan sampel pada persamaan (1). Nilai ketepatan mesin CNC End-Milling pada sumbu X adalah 0,0579 didapatkan

dari perhitungan yang dilakukan terhadap hasil pengukuran pada sumbu X, Pada sumbu Y didapatkan data pengukuran seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Ketepatan Sumbu Y

No.	Ukuran Sampel desain (mm)	Ukuran Sampel (mm)	Penyimpangan (x) (mm)	(x-x _r) ² (mm)
1	20	20	0	0.000784
2	20	20	0	0.000784
3	20	20.02	0.02	6.4E-05
4	20	20.04	0.04	0.000144
5	20	20.08	0.08	0.002704
Jumlah			0.14	0.00448
Rata rata			0.028	
Standar deviasi			0.033466401	

Dari persamaan (1) didapatkan bahwa nilai ketepatan sumbu Y adalah:

$$Se = \sqrt{\frac{0.0334664011}{5}}$$

Se = 0,081812

Nilai ketepatan mesin CNC End-Milling dapat dihitung dengan melihat standar deviasi dari rata-rata hasil perbandingan sampel. Ketepatan sumbu Y adalah 0,081812 didapatkan dari perhitungan yang telah dilakukan terhadap hasil pengujian ketepatan sumbu Y.

2. Pengujian Keterulangan

Pengujian keterulangan dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran lintasan *tool* berupa lingkaran dan persegi dengan desain yang ada secara berulang atau disebut juga dengan *Standard Deviasi* (S). Dari hasil pengujian didapatkan data sebagai berikut:

- Persegi

Pengujian dilakukan dengan membandingkan ukuran hasil pengujian pada sisi sumbu X dan sumbu Y pada lintasan berbentuk persegi dengan ukuran 10 mm. Hasil pengukuran dari keterulangan bentuk persegi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Keterulangan Persegi

No.	X (mm)	Y (mm)	Ukuran Desain x dan y	Penyimpang (x) (mm)	(x-x _r) (mm)	Penyimpang (y) (mm)	(y-y _r) (mm)	(x-x _r) ²	(y-y _r) ²
1	9.9	9.9	10	0.1	0.072	0.1	0.05	0.005184	0.0025
2	10	9.9	10	0	0.028	0.1	0.05	0.000784	0.0025
3	10	10	10	0	0.028	0	0.05	0.000784	0.0025
4	10.02	10	10	0.02	0.008	0	0.05	0.000064	0.0025
5	10.01	10	10	0.01	0.018	0	0.05	0.000324	0.0025
6	10.04	10.1	10	0.04	0.012	0.1	0.05	0.000144	0.0025
Jumlah				0.17		0.3		0.007284	0.015
Standar deviasi								0.038166	0.054772

Nilai keterulangan ditentukan dari keragaman variabel yang diukur terhadap nilai rata-ratanya (standar deviasi). Perhitungan standar deviasi dilakukan pada setiap sumbu untuk melihat penyimpangan keterulangan persegi dari pengujian

sampel. Perhitungan standar deviasi terhadap setiap sumbu adalah sebagai berikut:

Sumbu X

$$s = \sqrt{\sum_{k=1}^n \frac{(x-x_r)^2}{n-1}}$$

s = 0.038166

Sumbu Y

Dari persamaan (2) didapatkan bahwa nilai keterulangan sumbu Y adalah:

$$s = \sqrt{\frac{0.015}{5-1}}$$

s = 0.054772

Dari perhitungan yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa, tingkat keterulangan dari sumbu X memiliki deviasi 0,03 dan sumbu Y memiliki deviasi 0,05.

- **Lingkaran**

Pengujian keterulangan dengan bentuk lingkaran bertujuan untuk melihat kemampuan mesin bergerak secara parabolik dengan mengkombinasikan gerakan pada sumbu X dan sumbu Y secara kontiniu dan bersamaan. Data hasil pengujian keterulangan untuk bentuk lingkaran dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Keterulangan Lingkaran

No.	Diameter Desain (mm)	Diameter Terukur (mm)	Penyimpangan (d) (mm)	(d-d _r) (mm)	(d-dr) ²
1	20	20	0	0.038333333	0.001469444
2	20	20	0	0.038333333	0.001469444
3	20	20.03	0.03	0.008333333	6.94444E-05
4	20	20.04	0.04	0.001666667	2.77778E-06
5	20	20.08	0.08	0.041666667	0.001736111
6	20	20.08	0.08	0.041666667	0.001736111
Jumlah			0.038333333		0.006483333
Standar Deviasi			0.036009258		

Penyimpangan dari keterulangan lingkaran dapat dilihat dengan menghitung standar deviasi dari hasil pengujian. Perhitungan standar deviasi keterulangan lingkaran adalah sebagai berikut: Dari persamaan (2) didapatkan bahwa nilai keterulangan sumbu lingkaran adalah:

$$s = \sqrt{\frac{0.00648}{6-1}}$$

s = 0.0360

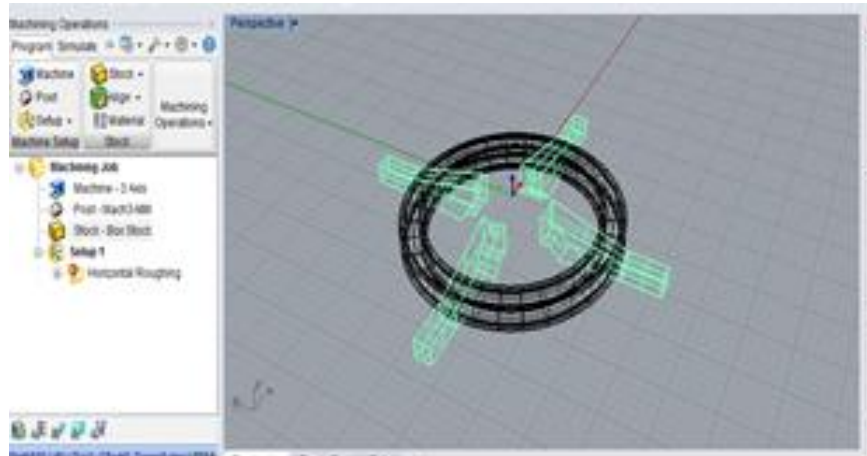
Dari perhitungan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa untuk bentuk geometri lingkaran memiliki keterulangan dengan standar deviasi 0,0360.

3.2. Pembuatan Produk Pola Cincin

Pembuatan produk pola cetakan cincin dilakukan setelah didapatkannya nilai ketepatan dan keterulangan dari mesin CNC End-Milling.

3.2.1. Desain Produk Perhiasan Cincin

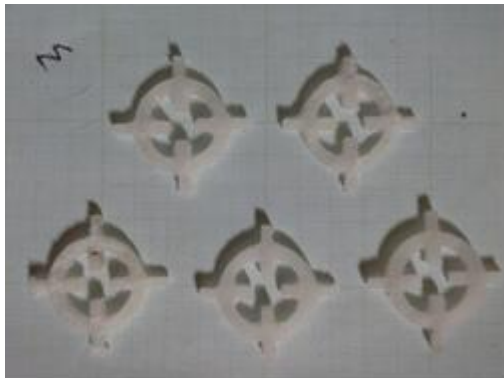
Proses perancangan produk dengan menggunakan software CAD adalah hal pertama yang dilakukan sebelum melakukan proses produksi. Bentuk dan ukuran produk yang diinginkan bergantung dari proses peerancangan. Dalam desain produk pola cincin ini, ukuran dari produk yaitu berdiameter luar 23,5mm, diameter dalam 20 mm dengan ketebalan 3,5mm. Ukuran yang ditetapkan ini sudah mengacu dari hasil pengujian ketepatan dan keterulangan yang dilakukan sebelumnya. Gambar desain produk pola cincin dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Desain Produk Pola Cincin

3.2.2. Hasil Produk

Dari proses produksi pola cincin menggunakan mesin CNC End-Milling yang telah dilakukan, hasil proses produksi dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil Produksi Cetakan Cincin Keseluruhan

3.2.3. Ketepatan dan Keterulangan Pola Cetakan Cincin

Pengolahan data terhadap produk hasil mesin CNC End-Milling dihitung setelah dilakukannya proses produksi pola cetakan cincin menggunakan mesin CNC End-Milling. Disamping itu, tujuan pengolahan data tersebut berguna untuk melihat performa atau kinerja dari mesin yang telah dibuat.

a. Perhitungan Ketepatan

Tujuan perhitungan ketepatan adalah membandingkan ukuran desain dengan ukuran sebenarnya untuk parameter diameter luar, diameter dalam dan ketebalan.

- Ketepatan diameter dalam
Ketepatan dari diameter dalam produk pola cetakan perhiasan cincin dihasilkan melalui perhitungan terhadap hasil pengukuran produk. Dari persamaan (1) didapatkan bahwa nilai ketepatan diameter dalam adalah:

$$Se = \sqrt{\frac{0,020736441}{5}}$$

$$Se = 0,064399$$

- Ketepatan diameter luar
Ketepatan dari diameter luar produk pola cetakan perhiasan cincin didapatkan dari perhitungan terhadap hasil pengukuran produk. Dari persamaan (1) didapatkan bahwa nilai ketepatan diameter luar adalah:

$$Se = \sqrt{\frac{0,020493902}{5}}$$

$$Se = 0,064022$$

- Ketebalan
Ketepatan dari ketebalan produk pola cetakan perhiasan cincin didapatkan berdasarkan

perhitungan terhadap hasil pengukuran produk searah sumbu Z.

Dari persamaan (1) didapatkan bahwa nilai ketepatan ketebalan adalah:

$$Se = \sqrt{\frac{0,043817805}{5}}$$

$$Se = 0,093614$$

b. Perhitungan Keterulangan

Nilai dari keterulangan produk pola perhiasan cincin dapat ditentukan dari besar perbedaan nilai hasil pengukuran sampel dengan rata rata yang didapatkan atau disebut juga *Standard Deviasi (S)*.

- Keterulangan diameter dalam
Keterulangan dari diameter dalam produk pola cetakan perhiasan cincin didapatkan dari membandingkan hasil pengukuran pada produk pola cetakan cincin dengan ukuran sebenarnya. Dari persamaan (2) didapatkan bahwa nilai keterulangan diameter dalam adalah:

$$s = \sqrt{\frac{0,00172}{5 - 1}}$$

$$s = 0,020736441$$

- Keterulangan diameter luar
Seperti halnya pada perhitungan keterulangan diameter dalam, perhitungan keterulangan dari diameter luar produk pola cetakan perhiasan cincin dihasilkan dari perhitungan terhadap hasil pengukuran produk.

$$S = \sqrt{\frac{0,00168}{5 - 1}}$$

$$S = 0,020493902$$

Dari hasil perhitungan standar deviasi dari luar dan diameter dalam didapatkan bahwa nilai simpangan rata-rata yang terjadi tidak begitu jauh berbeda. Hal ini menandakan, keterulangan produk searah sumbu X dan Y cukup baik.

- Keterulangan ketebalan
Sedangkan, Keterulangan dari ketebalan produk pola cetakan perhiasan cincin didapatkan dari perbandingan hasil pengukuran ketinggian produk atau searah sumbu Z dengan nilai yang sebenarnya.

$$S = \sqrt{\frac{0,00768}{5 - 1}}$$

$$S = 0,043817805$$

4. ANALISIS

Analisis mengenai mesin CNC End-Milling dan produk pola cetakan cincin didapatkan dari keseluruhan proses rancang bangun dan pengujian yang telah dilakukan. Mesin CNC End-Milling dapat bekerja sesuai fungsinya dimana pergerakan sumbu telah mengikuti pola alur dan membentuk produk sesuai dengan desain pada CAD. Serta, Mesin CNC End-Milling juga mampu mebuat pola cincin secara otomatis dengan kecepatan dan kedalaman potong yang diinginkan. Akan tetapi, Mesin CNC End-Milling ini masih belum bisa dikatakan terstandarisasi melihat dari segi kepersisian dan keterulangan masih terdapat banyak kesalahan dibandingkan dari sebuah mesin CNC pabrikan. Kesalahan kesalahan (*error*) yang terjadi pada pengujian sampel dan proses produksi tersebut disebabkan oleh.

1. Konstruksi Mesin CNC End-Milling

Pembuatan dan perakitan mesin CNC End-Milling dilakukan tanpa didukung oleh peralatan yang memadai sehingga terlihat di beberapa bagian terdapat kondisi pengelasan yang buruk, *missaligment* pada lubang dan baut, dan tidak adanya referensi dari kedataran mesin.

2. Elemen kontrol Mesin CNC End-Milling

Input sinyal yang masuk ke aktuator (motor *stepper*) tidak stabil yang menyebabkan lampu indikator CW dan CCW sering menyala secara bersamaan pada driver motor. Serta, hasil pengujian ketepatan mesin CNC yang semakin

lama seiring waktu dan penambahan laju temperatur pada driver semakin buruk dan berakibat pada perulangan pada hasil pengujian.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan dari keseluruhan proses pembuatan mesin CNC ini adalah sebagai berikut. Dari keseluruhan proses rancang bangun, pengujian serta produksi pola cetakaan cincin dapat ditarik kesimpulan bahwa perangkat mesin CNC telah dapat bekerja dengan semestinya. Begitu juga dengan karakteristik pengujian mesin CNC yang diperlihatkan pada pengujian *tool path* dan karakteristik produk yang dihasilkan dari mesin CNC End-Milling.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Indra, "Perancangan dan Perencanaan Mesin Selective Laser Sintering (SLS) Skala Laboratorium," Teknik Mesin. Universitas Andalas, 2012.
- [2] <http://www.custompartnet.com/wu/selective-laser-sintering>, diakses 26 Februari 2015
- [3] M.F.V.T. Pereira, M. Williams, W. B. Du Preez, "Application Of Laser Additive Manufacturing to Produce Dies For Aluminium High Pressure Die-Casting," *South African Journal of Industrial Engineering*. Stellenbosch University, 2012.
- [4] E.P. Grenda, Castle Island Worldwide Guide to Rapid Prototyping. <http://www.additive3d.com/home.htm>, diakses 17 Februari 2015.
- [5] (<http://mesincncbubut.wordpress.com/sejarah-perkembangan-mesin-cnc/>), diakses 10 Desember 2014.
- [6] E.P. Melky, A. Angga, "Aditif Manufacturing *Rapid Prototyping*". Program Studi Magister Teknik Mesin, Pascasarjana Universitas Andalas, 2012.
- [7] C.K, Chua, K.F. Leong and C.S Lim, "apid Prototyping: Principles and Applications. World Scientific Publishing Ltd, 2013
- [8] F. Islami, "Rancang Bangun *Prototype* Mesin CNC Router", Teknik Mesin. Universitas Andalas, 2012.
- [9] <http://dir.indiamart.com/impcat/End-Milling-machines.html>, diakses february 2015
- [10] <http://trikueni-desain-sistem.blogspot.com/2014/03/Pengertian-Motor-Stepper.html>, diakses Juni 2014
- [11] Tim Asisten. 2010. Laporan Akhir Praktikum Mekatronika. Teknik Mesin. Universitas Andalas.
- [12] <http://elektronika-dasar.web.id/teori-elektronika/motor-servo/>, diakses Juni 2014
- [13] <http://www.slideshare.net/Electromate/tolomatic-sls-mls-rodless-screw-drive-actuator-catalog>, diakses Februari 2015
- [14] <https://mutiamanarisa.wordpress.com/2010/09/30/program-dan-bagian-program-cnc/>, diakses Februari 2015
- [15] maxtron Persada. 2005. *Manual books MPI Breakoutboard*. Jakarta.
- [16] Vexta mtors Inc. 2004. *Motor Stepper Vexta UDK569 Reference Manual*. Singapore.
- [17] Vexta mtors Inc. 2004. *Driver Motor Vexta UDK 5114 Reference Manual*. Singapore.
- [18] A.Nofriheldi, "Pembuatan Konstruksi dan Sistem Otomasi Mesin CNC *Plasma Cutting*," Teknik Mesin. Universitas Andalas, 2013.