

Perancangan Mesin CNC untuk Pengerjaan Logam Aluminium dan Carbon Steel

Ridwan*, Wakhid Utomo* and Oki Yosevi*

*Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia
Electrical Engineering Department
Jl.Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia
E-mail: ridwan@polibatam.ac.id

Abstrak

Pada umumnya di dunia industri banyak menggunakan mesin CNC (*Computer Numerically Control*) yang sudah dapat mengolah pengerjaan logam berat seperti *carbon steel*. Hanya saja dalam penggunaannya membutuhkan biaya yang sangat besar. Untuk mengatasi hal ini perlu dirancang mesin CNC *router* untuk pengerjaan logam aluminium dan *carbon steel* yang akan di operasikan pada PT. XYZ, guna meningkatkan efisiensi produksi dengan biaya yang relative sedikit. Sekarang ini perusahaan tersebut memiliki CNC *router* yang hanya mampu memproses material resin, bakelite, durostone dan recocel, sedangkan pengerjaan material logam aluminium dan carbon steel masih menggunakan mesin milling konvensional. Dalam penelitian ini, dilakukan perancangan dan pembuatan mesin CNC *router* 3 axis yang dapat memproses material logam AISI 1046 *carbon steel* dan dapat diproduksi sendiri. Metode yang digunakan adalah merancang struktur dari mesin, dan melakukan pemilihan motor *stepper* sebagai penggerak sumbu axis x, y dan z. Hasil dari penelitian ini didapat mesin CNC *router* 3 axis dengan komponen elektronik yang sudah ditentukan, sehingga mempunyai rancangan torsi motor *stepper* sebesar 2,8 Nm. Mesin CNC *router* yang telah rancang mampu mengerjakan material logam AISI 1046 *carbon steel*. Pada proses percobaan kedalaman pemakanan dengan menggunakan 0,2 - 1 mm/putaran dengan kecepatan penyayatan (*feedrate*) 200 mm/menit. Hasil pengukuran benda uji dari proses mesin CNC *router* yang dirancang tidak melebihi 0,2 mm. hasil pengukuran menggunakan standar toleransi *japanese industrial standards* (JIS) dengan metode pengukuran *coordinate measuring machine* (CMM).

Kata kunci: CNC, aluminium, *carbon steel*, mesin milling konvensional

Abstract

Generally, in the industry many use CNC (*Computer Numerically Control*) machines that can process heavy metal work such as *carbon steel*. It's just that its use requires a very large cost. To overcome this, it is necessary to design a CNC *router* type machine for aluminum and carbon steel metalworking which will be operated at PT. XYZ, in order to increase production efficiency with relatively little cost. Currently, the company has a CNC *router* type that is only capable of processing resin, Bakelite, durostone and recocel materials, and for working on aluminum and carbon steel materials still used conventional milling machine. In this research, the design and manufacture of a 3 axis CNC *router* machine that can process AISI 1046 carbon steel metal material and can be produced by yourself is carried out. The method used is to design the structure of the machine, and to select a stepper motor as the driving force for the x, y and z axes. The results of this study obtained a 3 axis CNC *router* machine with electronic components that have been determined, so that the design torque of the stepper motor is 2.8 Nm. The CNC *router* machine that has been designed is capable of working on AISI 1046 carbon steel metal. In the experimental process the depth of food is using 0.2 - 1 mm/turn with a feedrate of 200 mm/minute. The

measurement results of the test object from the designed CNC router machining process do not exceed 0.2 mm. And the measurement results of the test object have met the Japanese Industrial Standards (JIS) tolerance standard with the coordinate measuring machine (CMM) measurement method.

Keywords: CNC, aluminium, carbon steel, conventional milling machine

1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat mengharuskan manusia untuk berfikir kreatif dalam melakukan inovasi. Perkembangan teknologi yang pesat juga mempengaruhi industri manufaktur sehingga dapat menghasilkan produk-produk unggulan. Contohnya pada perusahaan industri mesin CNC yang semakin hari semakin berkembang. CNC adalah singkatan dari “*Computer Numerical Control*”. CNC adalah mesin yang di gunakan dalam proses manufaktur yang menggunakan kontrol terkomputerisasi. Kelebihan yang paling domain yaitu hasil kepresisian baik dan kecepatan dalam proses produksi, sehingga cocok digunakan untuk produksi masal [5].

PT. XYZ adalah salah satu perusahaan manufaktur yang berada di kelas UKM (Usaha Kelas Menengah). Perusahaan ini telah mempunyai Mesin CNC *Milling 3-axis type router* yang dapat memproses material *durostone*, *bakelite* dan *resin*, untuk memproses material logam carbon steel menggunakan mesin milling konvensional. Hal ini membuat proses produksi tidak efisien di karenakan banyaknya proses produksi untuk pengolahan logam *carbon steel* masih menggunakan mesin milling konvensional. Di tambah lagi dengan meningkatnya jumlah produksi dan keterbatasan jumlah mesin konvensional maka akan semakin membuat proses produksi tidak efisien dalam segi waktu dan dalam proses pengerjaanya produksinya.

Dengan demikian maka di butuhkan pengembangan alat produksi. Untuk itu PT. XYZ ini ingin ada penambahan mesin CNC *Milling 3-axis type router* untuk memproses pengerjaan material logam seperti aluminium dan carbon steel [2]. Penambahan mesin ini tidak dilakukan dengan cara pembelian mesin baru karena harga mesin yang masih relative mahal bagi pelaku UKM. Harga mesin CNC *Milling 3-axis type*

router dengan spesifikasi yang diharapkan bisa mencapai harga 100 juta rupiah. Untuk itu diperlukan penelitian untuk Perancangan mesin CNC *Milling 3-axis type router* yang difokuskan untuk memproses pengerjaan material logam seperti aluminium dan *carbon steel* [3]. Dan dengan adanya penelitian untuk perancangan mesin CNC *type router* ini diharapkan akan terciptanya mesin CNC dengan spesifikasi yang dibutuhkan dengan harga pembuatan mesin yang relatif murah dan dapat meningkatkan jumlah proses produksi dengan waktu yang dibutuhkan lebih efisien.

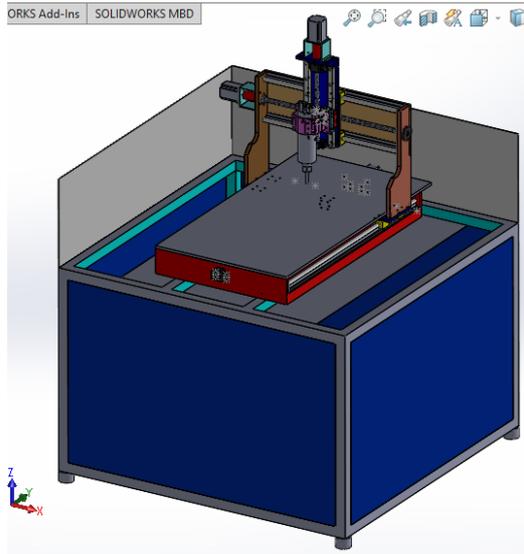
2. Metode

2.1 Perancangan Alat

Perancangan alat ini terdiri dari tiga bagian, berikut ini adalah bagian-bagian dari proses perancangan alat.

2.1.1 Perancangan Desain Mesin CNC

Pembuatan desain mesin CNC berdasarkan dengan referensi desain mesin *milling* konvensional yang ada di perusahaan manufaktur. Desain mekanik mesin CNC dibuat agar dapat bergerak 3 arah yakni arah sumbu axis X, Y dan Z. Desain mekanik mesin CNC juga dibuat dengan konstruksi untuk pengerjaan material logam aluminium dan *carbon steel*. Ukuran maksimal proses pengerjaan material yang di desain adalah panjang 550 mm, lebar 350 mm dan tinggi 130 mm. Gambar 1 berikut merupakan desain mekanik mesin CNC *router* untuk pengerjaan logam aluminium dan *carbon steel*.



Gambar 1 Desain mekanik Mesin CNC

2.1.2 Perencanaan Torsi Motor Stepper

Untuk menentukan kemampuan torsi motor stepper menggerakkan sumbu X, Y dan Z maka perlu diperhitungkan gaya beban yang diterima sumbu axis. Rumus untuk mencari gaya beban pada sumbu axis untuk mengetahui keamanan kekuatan torsi pada motor stepper yang digunakan adalah sebagai berikut [3]:

$$F = \frac{\tau}{r} \tag{1}$$

dimana F didapat dari persamaan:

$$F = m \cdot g \tag{2}$$

dimana: τ = torsi motor stepper (Nm)

r= jari – jari ball screw (m)

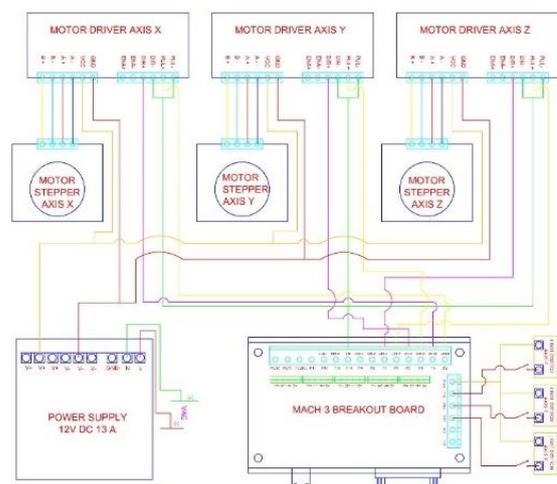
F= beban gaya (N)

g= percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

2.1.3 Rangkaian kontrol

Pada mesin CNC ini pada dasarnya mengubah bahasa program G-code menjadi menjadi gerakan-gerakan axis pada mesin. Gerakan axis mesin memakai 3 motor stepper dengan jenis nema 34 dan pada saat pergerakan axis X, Y dan Z berjalan maka terdapat rangkaian yang aktif. Pada motor stepper axis X, Y dan Z proses

rangkaian yang aktif yakni wiring dari breakout board mach3 pin (CLK) yang terhubung dengan motor driver pin (PUL +) sebagai pengirim signal pulsa ke motor stepper Nema 34. Pin (DIR) dari breakout board mach3 yang terhubung dengan motor driver pin (DIR +) sebagai pengirim signal arah putaran motor stepper. Pin (EN) dari breakout board mach3 terhubung dengan motor driver pin (PUL- dan DIR-) yang berfungsi sebagai grounding. Dan USB port pada breakout board mach3 terhubung dengan USB port pada PC computer sebagai sumber arus (5v) yang dibutuhkan oleh motor driver yang didapat dari breakout board. Kemudian pin (VCC) pada motor driver dihubungkan ke port (V+) pada power supply, pin (GND) dihubungkan kePort (V-) pada power supply sebagai sumber arus motor stepper, serta pin (A+,A-,B+,B-) dihubungkan langsung ke motor stepper, pin tersebut berfungsi sebagai penentu arah putaran motor stepper yaitu searah dan berlawanan jarum jam. Proses aktif pada wiring axis sumbu X, Y dan Z sama prosesnya. Gambar 2 berikut merupakan pengkabelan listrik mesin CNC router.



Gambar 2 Pengkabelan listrik mesin

3. Hasil dan Pembahasan

Mesin CNC yang di rancang terdiri dari proses pembuatan mekanikal dan elektrikal sehingga menghasilkan mesin CNC 3 sumbu axis yakni

sumbu X, Y dan Z, dengan kapasitas maksimal proses pengerjaan material adalah panjang 550 mm, lebar 350 mm dan tinggi 130 mm untuk proses pengerjaan logam aluminium dan carbon steel pada kapasitas produksi manufaktur. Gambar 3 berikut adalah realisasi mesin CNC dari perancangan mekanik dan elektrik yang telah dirancang sebelumnya.



Gambar 3 Realisasi mesin CNC

3.1 Perhitungan Torsi Motor Stepper

1. Sumbu Z

Untuk menentukan kemampuan motor *stepper* menggerakkan sumbu Z maka perlu diperhitungkan beban yang diterima sumbu Z. Massa komponen-komponen yang ada di sumbu Z dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1 Beban pada sumbu Z

No	Nama komponen	Jumlah	Massa (Kg)
1	<i>Spindle Motor</i>	1	6
2	<i>Base rail</i>	1	1
4	<i>Hiwin Rail</i>	2	1,38
<i>Total</i>			8,38

diketahui: $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

$r \text{ ball screw} = 8 \text{ mm} = 0,008 \text{ m}$

$\tau \text{ motor stepper} = 2,8 \text{ Nm}$

Sesuai dengan persamaan 2, maka gaya beban yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$F = m \cdot g$$

$$= 9,38 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$= 82,12 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 82,12 \text{ N}$$

Kemampuan motor *stepper* sumbu Z untuk menggerakkan beban (F) pada sumbu Z berdasarkan persamaan 1 sebagai berikut:

$$F = \frac{\tau}{r}$$

$$F = \frac{2,8 \text{ Nm}}{0,008 \text{ m}}$$

$$F = 350 \text{ N}$$

Hasil perencanaan beban sumbu Z sebesar 82,12 N sedangkan torsi motor *stepper* mampu untuk menggerakkan beban sebesar 350 N, sehingga dalam penelitian ini pemilihan motor *stepper* model nema 34 seri 86HS65-3004A14-B35 torsi 2,8 Nm pada sumbu Z aman.

2. Sumbu X

Untuk menentukan kemampuan motor *stepper* menggerakkan sumbu X maka perlu diperhitungkan beban yang diterima oleh sumbu X. Untuk mengetahui massa komponen tersebut maka dapat melihat dari spesifikasi komponen dan menjumlahkan komponen-komponen yang ada di sumbu X. Massa komponen-komponen yang ada pada sumbu X dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2 Beban pada sumbu X

No	Nama komponen	Jumlah	Massa (Kg)
1	Beban sumbu Z	1	8,38
1	<i>Base Plate</i>	1	2,16
2	<i>Linier guide rail</i>	2	1,8
3	<i>Ball Screw</i>	1	1,7
4	<i>Hiwin Rail</i>	4	2,76
5	<i>Motor stepper</i>	1	1,85
<i>Total</i>			18,65

diketahui: $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

$r \text{ ball screw} = 8 \text{ mm} = 0,008 \text{ m}$

$\tau \text{ motor stepper} = 2,8 \text{ Nm}$

Gaya beban yang dihasilkan sesuai dengan persamaan 2 adalah sebagai berikut :

$$F = m \cdot g$$

$$= 18,65 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$= 182,77 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 182,77 \text{ N}$$

Berdasarkan persamaan 1 kemampuan motor *stepper* sumbu X untuk menggerakkan beban (F) pada sumbu X sebagai berikut :

$$F = \frac{\tau}{r}$$

$$F = \frac{2,8 Nm}{0,008 m}$$

$$F = 350 N$$

Hasil perencanaan beban sumbu X sebesar 182,77 N sedangkan torsi *motor stepper* mampu untuk menggerakkan beban sebesar 350 N, sehingga dalam penelitian ini pemilihan *motor stepper* model nema 34 seri 86HS65-3004A14-B35 torsi 2,8 Nm pada sumbu X aman.

3. Sumbu Y

Untuk menentukan kemampuan *motor stepper* menggerakkan sumbu Y maka perlu diperhitungkan beban yang diterima sumbu Y. Massa komponen-komponen yang ada pada sumbu Y dijelaskan pada Tabel 3.

Tabel 3 Beban pada sumbu Y

No	Nama komponen	Jumlah	Massa (Kg)
1	Beban sumbu X dan Z	1	18,65
2	Linier guide rail	2	3,6
3	Base plate	1	4,32
4	Hiwin Rail	4	2,76
5	Motor Stepper	1	1,85
6	Ball Screw	1	3,5
Total			34,68

Diketahui: $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

$r \text{ ball screw} = 10 \text{ mm} = 0,01 \text{ m}$

Gaya beban yang dihasilkan sesuai dengan persamaan 2 adalah sebagai berikut :

$$F = m \cdot g$$

$$= 34,68 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$= 339,86 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 339,86 \text{ N}$$

Kemampuan motor *stepper* sumbu Y untuk menggerakkan beban (F) pada sumbu Y berdasarkan persamaan 1 adalah:

$$F = \frac{\tau}{r}$$

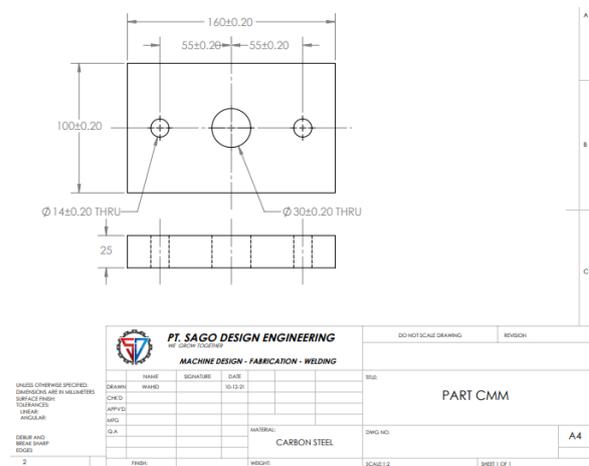
$$F = \frac{2,8 Nm}{0,008 m}$$

$$F = 350 N$$

Hasil perencanaan beban sumbu X sebesar 339,86 N sedangkan torsi motor *stepper* mampu untuk menggerakkan beban sebesar 350 N, sehingga dalam penelitian ini pemilihan motor *stepper* model nema 34 seri 86HS65-3004A14-B35 torsi 2,8 Nm pada sumbu Y aman.

3.2 Pengujian Proses Mesin CNC

Pengujian proses ini dilakukan untuk mengetahui bahwa mesin CNC yang dibuat dapat memproses material logam *carbon steel* dengan hasil pengerjaan part persisi. Berikut adalah desain drawing benda uji dengan standart toleransi *japanese industrial standards (JIS)* dan jenis matrial AISI 1046 *carbon steel*. Pada gambar 4 berikut adalah part dan dimensi benda uji yang akan dibuat menggunakan proses pengerjaan mesin CNC.

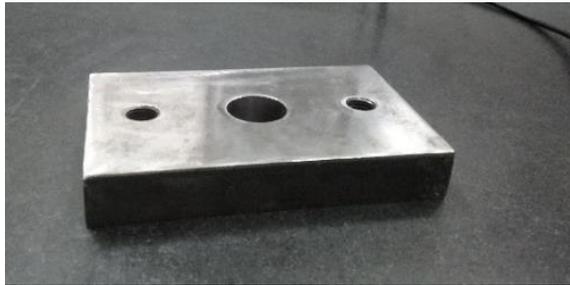


Gambar 4 Part dan dimensi benda uji

3.3 Hasil Pengujian mesin CNC

Dalam proses pengujian mesin CNC pengoperasiannya menggunakan program G/M code yang telah di buat sebelumnya dengan referensi gambar 3 dimensi. Benda uji yang disesuaikan dengan ukuran benda uji. Benda uji menggunakan material jenis AISI 1046 *carbon steel* dan di proses menggunakan mesin CNC yang telah selesai di buat, guna memastikan apakah mesin CNC mampu memproses material jenis AISI 1046 *carbon steel* dengan hasil pengukuran benda uji yang

presisi. Gambar 5 berikut adalah benda uji hasil dari proses pengerjaan mesin CNC yang telah dibuat.



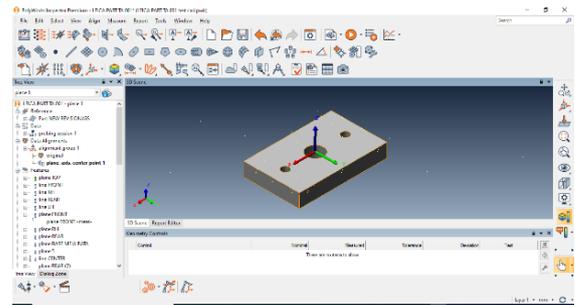
Gambar 5 Benda uji hasil proses mesin CNC

3.4 Pengukuran Metode CMM

Coordinate Measuring Machine (CMM) adalah metode pengukuran karakteristik geometris fisik suatu objek secara 3 dimensi. Metode CMM dilakukan dengan cara pengambilan data *point* pada sisi-sisi benda uji hasil proses mesin. Dari data pengambilan *point* kemudian di olah menjadi koordinat sistem sebagai datum pengukuran benda uji. Pengolahan program dan data pengukuran metode CMM ini menggunakan software *polyworks* dan mesin *Leica AT 401*. Berikut langkah langkah pengukuran metode CMM.

3.4.1 Membuat program CMM

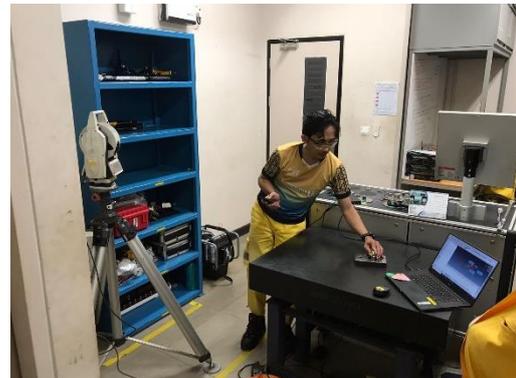
Sebelum melakukan pengukuran benda uji, program CMM harus dibuat terlebih dahulu menggunakan software *polyworks*. Program di buat berdasarkan benda uji yang akan diukur dan telah di buat desain CADnya. Untuk spesifikasi dimensi pengukuran sudah otomatis dengan ukuran yang ada pada desain CADnya. Program CMM yang di buat setelah melakukan pengambilan data pengukuran benda uji maka akan menghasilkan *report* hasil pengukuran benda uji. *Report* yang dihasilkan mengacu pada standar toleransi JIS sehingga hasil pengukuran dapat langsung mengetahui *accept* atau *reject*. Pengukuran yang akan diambil datanya pada benda uji berupa *Plane*, *vector* dan *circle*. Program CMM yang telah dibuat di software *polyworks* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Program CMM *polyworks*

3.4.2 Pengambilan data pengukuran CMM

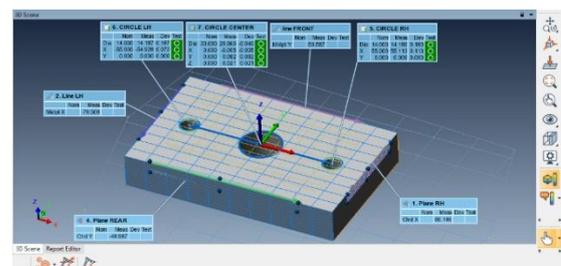
Pengambilan data diambil langsung menggunakan metode CMM dengan proses *touching probe* langsung ke benda uji. Proses *touching* terdiri dari *touch plane*, *vector* dan *circle* pada benda uji. Gambar 7 berikut adalah proses pengambilan data pengukuran metode CMM di ruangan kalibrasi.



Gambar 7 Pengambilan data pengukuran CMM

3.4.3 Hasil pengukuran metode CMM

Setelah pengambilan data pada benda uji maka data akan di proses menggunakan software *polyworks*. Data yang dikeluarkan dari software *polyworks* berupa 3D sesuai dengan hasil pengambilan data benda uji. Hasil 3D CMM software *polyworks* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Hasil 3D CMM software *polyworks*

Dari proses pengambilan data benda uji dengan metode CMM pada *software* polyworks akan menghasilkan data berupa report. Report yang dikeluarkan adalah berupa data nominal angka aktual benda uji berdasarkan spesifikasi ukuran dan toleransi benda uji yang telah di buat CADnya. Gambar 9 berikut adalah hasil *report* CMM *software* polyworks dari pengambilan data benda uji.

Name	Control	Nom	Meas	Tol	Dev	Test	Out Tol
1. Plane RH	Centroid X	80.146	±1.000				
2. Line LH	Midpoint X	-79.508	±1.000				
3. Plane FRONT	Centroid Y	50.893	±1.000				
4. Plane REAR	Centroid Y	-48.987	±1.000				
5. CIRCLE RH	Diameter	14.000	14.180	±0.200	0.180	Pass	
	X	55.000	55.113	±0.200	0.113	Pass	
	Y	0.000	0.000	±0.200	0.000	Pass	
6. CIRCLE LH	Diameter	14.000	14.187	±0.200	0.187	Pass	
	X	-55.000	-54.528	±0.200	0.072	Pass	
	Y	0.000	0.000	±0.200	0.000	Pass	
7. CIRCLE CENTER	Diameter	30.000	29.960	±0.200	-0.040	Pass	
	X	0.000	-0.005	±0.200	-0.005	Pass	
	Y	0.000	0.082	±0.200	0.082	Pass	
	Z	0.000	0.021	±0.200	0.021	Pass	

Gambar 9 Hasil *report* CMM pada benda uji

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada mekanikal pergerakan axis mesin CNC didapat hasil perhitungan *motor stepper* yang tepat yakni menggunakan model nema 34 seri 86HS65-3004A14-B35 torsi 2,8 Nm, sehingga mampu menggerakkan axis sumbu untuk memproses material logam AISI 1046 *carbon steel* dengan dimensi 160mm x 100mm x 25mm. Pergerakan 3 sumbu axis X,Y, dan Z yang akurat sehingga menghasilkan tingkat kepresisian hasil pemesinan yang tinggi pada benda uji yakni kurang dari 0,2mm dengan metode pengukuran benda uji menggunakan metode Koordinat Measuring *Machine* (CMM).

Ucapan Terimakasih

Terima kasih kepada semua pihak yang sudah terlibat dan membantu penelitian ini terutama kepada PT. Sago Design Engineering yang sudah mendukung penelitian ini.

Referensi

- [1] Sularso, Suga, Kiyokatsu. 1991. *Dasar Perencanaan dan Elemen Mesindan Pemilihan Elemen Mesin 10th Edition*. Jakarta: PT. PradnyaParamita.
- [2] Hood-Daniel, Patrick & Floyd Kelly, James. 2009. *Build Your Own CNC Machine*, American, New York.
- [3] Kurniawan, E., & Jekky, B. 2020. *Rancang Bangun Mesin CNC Lathe Mini 2 Axis*. 4(2), 83–90.
- [4] Budynas, Richard G., dan J. Keith Nisbett. 2011. *Shigley's Mechanical Engineering Design Ninth Edition*. New York: McGraw-Hill.
- [5] Van Houten, F. A. 1992. Manufacturing Interfaces. *CIRP Annals*, 41(2), 699-710.