

RANCANG BANGUN MESIN CNC TENON – MORTISE

***Khaidir Noor¹, Susilo Adi Widyanto², Paryanto²**

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: khaedir.noor@gmail.com

Abstrak

Salah satu penyebab produktifitas industri manufaktur pada UKM (Usaha Kecil dan Menengah) di Indonesia dikarenakan proses produksi yang dilakukan masih dilakukan secara manual oleh tangan manusia. Dengan pengadaan mesin perkakas modern seperti mesin *Computer Numerical Control* (CNC) diharapkan pelaku UKM mampu meningkatkan kualitas hasil produksi. Untuk mengatasi masalah ini disusun dan dibuatlah mesin CNC *tenon – mortise* dimana geometri dikhususkan untuk membuat pin atau lubang pada bahan baku kayu. Perancangan mesin ini memiliki desain dengan dimensi secara keseluruhan sebesar 990,30 mm x 1083,30 mm dan tinggi sebesar 1625,80 mm yang memiliki 3 sumbu gerak yaitu X, Y, dan Z. Untuk sistem gerak sumbu menggunakan *ballscrew* dan motor *stepper* sebagai penggerakannya. Dari hasil perhitungan dengan acuan NSK, ukuran *ballscrew* didapatkan nilai yaitu *lead* 4 mm atau ≥ 4 mm dan diameter minimal *shaft* sebesar 3,31 mm pada sumbu X, 5,31 mm pada sumbu Y, dan 1,40 mm pada sumbu Z. Karena sistem penggerak yang akan digunakan pada setiap sumbu sama, maka dipilihlah *ballscrew* EBB 1605-4 dengan nilai $dr = 13,1$ mm dan *lead* 5 mm sesuai dengan katalog THK. Pengujian kelayakan mesin CNC *tenon – mortise* mengacu pada standar penerimaan mesin perkakas Schlesinger.

Kata kunci: *ballscrew*; mesin cnc *tenon – mortise*; schlesinger

Abstract

One of the causes of the productivity of the manufacturing industry in SMEs (Small and Medium Enterprises) in Indonesia is because the production process is still done manually by human hands. By procuring modern machine tools such as Computer Numerical Control (CNC) machines, it is hoped that SMEs will be able to improve the quality of their production. To overcome this problem, a tenon-mortise CNC machine was developed where the geometry is devoted to making pins or holes in wood raw materials. The design of this machine has a design with overall dimensions of 990.30 mm x 1083.30 mm and a height of 1625.80 mm which has 3 axes of motion, namely X, Y, and Z. For the axis motion system using a ballscrew and a stepper motor as the driving force. From the results of calculations with the NSK reference, the ballscrew size obtained a value of 4 mm or ≥ 4 mm and a minimum shaft diameter of 3.31 mm on the X axis, 5.31 mm on the Y axis, and 1.40 mm on the Z axis. the drive system that will be used on each axis is the same, so the EBB 1605-4 ballscrew is chosen with a value of $dr = 13.1$ mm and a lead of 5 mm according to the THK catalog. The feasibility test for the tenon – mortise CNC machine refers to the acceptance standard of the Schlesinger machine tool.

Keywords: *ballscrew*; *tenon – mortise cnc machine*; *schlesinger*

1. Pendahuluan

Seiring berkembangnya zaman, di dalam dunia industri manufaktur membutuhkan penerapan teknologi optimasi dalam proses permesinan. Perkembangan teknologi ini telah menghasilkan mesin yang dapat membuat semua kegiatan produksi bisa diselesaikan relatif cepat, efektif, dan dengan hasil *output* yang maksimal [1].

Salah satu penyebab produktifitas industri manufaktur pada UKM (Usaha Kecil dan Menengah) di Indonesia dikarenakan proses produksi yang dilakukan masih secara manual oleh tangan manusia [2]. Dengan pengadaan mesin perkakas modern seperti mesin *Computer Numerical Control* (CNC) diharapkan pelaku UKM mampu memproduksi produk-produk dengan geometri khusus dengan ketelitian yang tinggi, meningkatkan efisiensi proses produksi serta meningkatkan kualitas hasil produksi sehingga tidak akan kalah bersaing dengan produk-produk impor yang berasal dari berbagai negara [3].

Proses pemesianan frais (*milling*) merupakan suatu proses penyayatan benda kerja dimana gerak potong dilakukan oleh putaran pahat, sedangkan gerak makan dilakukan oleh benda kerja. Permukaan yang disayat bisa berbentuk datar, menyudut, atau melengkung dan bisa juga berbentuk kombinasi dari beberapa bentuk [4]. Berdasarkan jenis pisau dan

posisi relatif pisau terhadap benda kerja proses frais dapat diklasifikasikan dalam tiga jenis, yaitu frais periperal (*slab milling*), frais muka (*face milling*), dan frais jari (*end milling*) [5].

Sistem penggerak digunakan untuk meneruskan gerak rotasi menjadi gerakan *linier* dengan gesekan minimum. Sebuah poros berulir menjadi lintasan heliks bagi *ball bearing* yang bertindak sebagai *precision screw* [6]. Oleh karena desain dan pembuatan *ballscrew* dengan toleransi relatif kecil, maka cocok untuk pengaplikasian dalam kondisi dimana kepresisian tinggi diperlukan. Secara umum *ballscrew* mempunyai efisiensi antara 30% - 75% tergantung pada sudut helix dan koefisien gesek antara ulir pada batang dengan ulir pada mur [7].

Adapun tujuan penelitian ini bertujuan untuk membuat mesin yang dapat melakukan pemakanan berbentuk *tenon – mortise* pada bahan baku kayu. Pada perancangan mesin CNC *tenon – mortise* difokuskan pada pembuatan komponen – komponen mekanik serta perakitan komponen tersebut dengan komponen jadi yang telah tersedia di pasaran, sehingga terbentuklah konstruksi mesin CNC *tenon – mortise* yang dapat bergerak pada setiap sumbu pergerakannya.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Konsep Desain Mesin CNC *Tenon – Mortise*

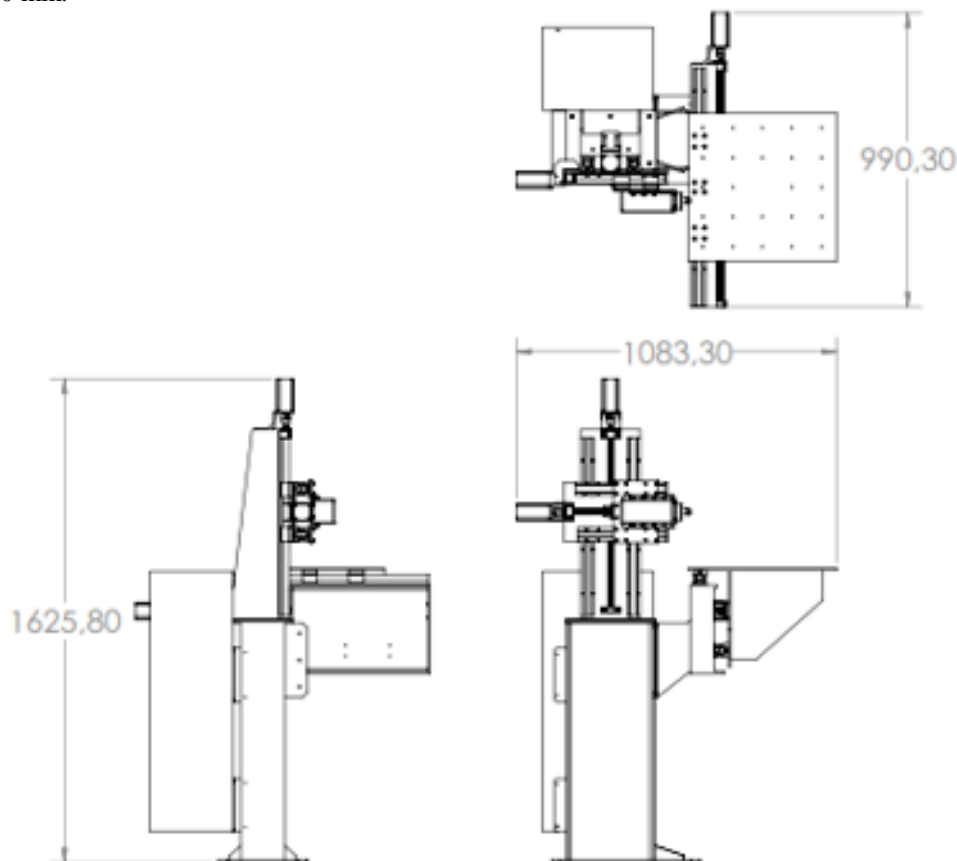
Dalam dunia keteknikan kata desain atau merancang menjadi suatu hal yang sering didengar dalam pembuatan atau proses memodifikasi suatu alat. Desain menampilkan gagasan atau ide yang ditampilkan dalam bentuk gambar, baik dalam bentuk gambar teknik maupun gambar visual.

Berdasarkan aspek fungsionalnya, bagian mesin CNC *tenon - mortise* sebagai berikut:

- Sistem gerak mesin: sistem gerak mesin berfungsi untuk menghasilkan gerak relatif antar komponen gerak mesin, dimana dari gerakan tersebut proses pemotongan terjadi.
- Konstruksi mekanis pendukung mesin: merupakan konstruksi yang berfungsi sebagai penunpung benda kerja dan sistem gerak mesin.
- Sistem kendali mesin: merupakan bagian pengatur Gerakan sistem gerak mesin yang terdiri dari sistem elektris, sistem elektronis dan motor penggerak untuk tiap sumbu gerak mesin.

Mesin CNC *tenon – mortise* ini dirancang dengan panjang lintasan X, Y, dan Z sepanjang 800, 600, dan 300mm. Selain itu pada mesin ini memiliki sistem kendali untuk pengoperasian CNC itu sendiri, dari komputer dengan *software* sebagai sistem pengoperasiannya, *driver motor stepper*, *breakout board*, motor *spindle* dan motor *stepper* sebagai penggerak mesin tersebut.

Dari desain mesin yang dibuat harus mampu untuk memenuhi kebutuhan dari daerah operasi yang sudah ditentukan, mesin CNC *tenon - mortise* (Gambar 1) memiliki dimensi secara keseluruhan sebesar 990,30 mm x 1083,30mm dan tinggi sebesar 1625,80 mm.



Gambar 1. Dimensi Mesin.

2.2 Perhitungan Sistem Penggerak Sumbu

Perhitungan pada *ballscrew* untuk menentukan *lead*, diameter minimal *shaft* dan torsi untuk menggerakkan *ballscrew* hanya diperhitungkan berdasarkan beban bodi mesin [8]. Berikut ini merupakan perhitungan perencanaan *ballscrew* yang akan digunakan.

Diketahui:

Tingkat akurasi	= C7 (50 $\mu\text{m}/300 \text{ mm}$)
Kecepatan (V_{max})	= 0,1 m/s atau 100 mm/s
Kecepatan putar (N_{max})	= 1500 min^{-1}
<i>Support bearing</i>	= <i>Fixed – Simple support</i> ($m = 10,0$)
Waktu	= 0,25 detik

lead:

$$l \geq \frac{V_{\text{max}}}{N_{\text{max}}} \dots\dots\dots(1)$$

$$l \geq \frac{100\text{mm/sec} \times 60}{1500 \text{ min}^{-1}}$$

$l \geq 4 \text{ mm}$ (maka ukuran minimal *lead* yang digunakan yaitu 4 mm atau $\geq 4 \text{ mm}$)

Dengan parameter – parameter yang telah ditentukan maka pemilihan *ballscrew* yang akan digunakan dapat dihitung.

- a. Perencanaan ulir penggerak sumbu X

Pada sumbu X beban yang akan dipindahkan yaitu sebesar 37,71 kg dengan jarak efektif (*stroke*) 800 mm.

Diameter minimal *shaft*:

$$d_r \geq \left(\frac{P \cdot L_a^2}{m} \times 10^{-4} \right)^{\frac{1}{4}} \dots\dots\dots(2)$$

$$d_r \geq \left(\frac{18,78 \text{ N} \times 800^2 \text{ mm}^2}{10} \times 10^{-4} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$d_r \geq 3,31 \text{ mm}$$

Torsi pada kecepatan konstan untuk menggerakkan *ballscrew*:

$$T_a = \frac{F_a \cdot l}{2\pi \cdot \eta_1} \dots\dots\dots(3)$$

$$T_a = \frac{3,70 \text{ N} \times 0,5 \text{ cm}}{2\pi \cdot 90\%}$$

$$T_a = 0,31 \text{ N} \cdot \text{cm} = 0,0031 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- b. Perencanaan ulir penggerak sumbu Y

Pada sumbu X beban yang akan dipindahkan yaitu sebesar 21,73 kg dengan jarak efektif (*stroke*) 600 mm.

Diameter minimal *shaft* dari persamaan (2):

$$d_r \geq \left(\frac{221,86 \text{ N} \times 600^2 \text{ mm}^2}{10} \times 10^{-4} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$d_r \geq 5,31 \text{ mm}$$

Torsi pada kecepatan konstan untuk menggerakkan *ballscrew* dari persamaan (3):

$$T_a = \frac{213,17 \text{ N} \times 0,5 \text{ cm}}{2\pi \cdot 90\%}$$

$$T_a = 18,858 \text{ N} \cdot \text{cm} = 0,18858 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- c. Perencanaan ulir penggerak sumbu Z

Pada sumbu X beban yang akan dipindahkan yaitu sebesar 8,8 kg dengan jarak efektif (*stroke*) 300 mm.

Diameter minimal *shaft* dari persamaan (2):

$$d_r \geq \left(\frac{4,38 \text{ N} \times 300^2 \text{ mm}^2}{10} \times 10^{-4} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$d_r \geq 1,40 \text{ mm}$$

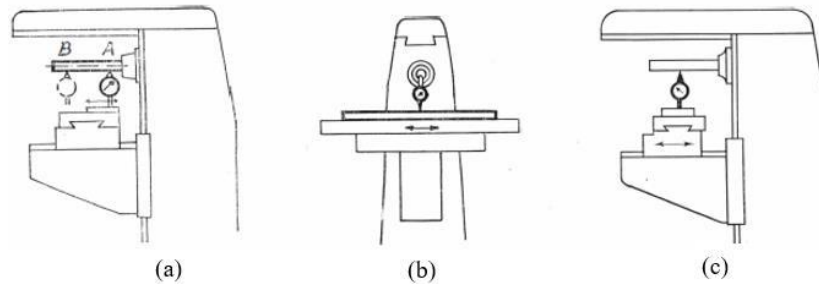
Torsi pada kecepatan konstan untuk menggerakkan *ballscrew* dari persamaan (3):

$$T_a = \frac{0,86 \text{ N} \times 0,5 \text{ cm}}{2\pi \cdot 90\%}$$

$$T_a = 0,07 \text{ N} \cdot \text{cm} / 0,0007 \text{ N} \cdot \text{m}$$

2.3 Pengujian Mesin Perkakas

Pengujian mesin perkakas dilakukan untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan yang diakibatkan oleh pemasangan tiap komponen pada mesin CNC *tonon – mortise*. Penyimpangan ini sangat perlu karena nilai yang diperoleh dari simpangan tersebut nantinya digunakan sebagai salah satu acuan untuk menganalisa penyimpangan yang terjadi saat dilakukan penyetingan pada komponen [9]. Adapun skema pengujian mesin CNC *tonon – mortise* ditunjukkan pada Gambar 3.

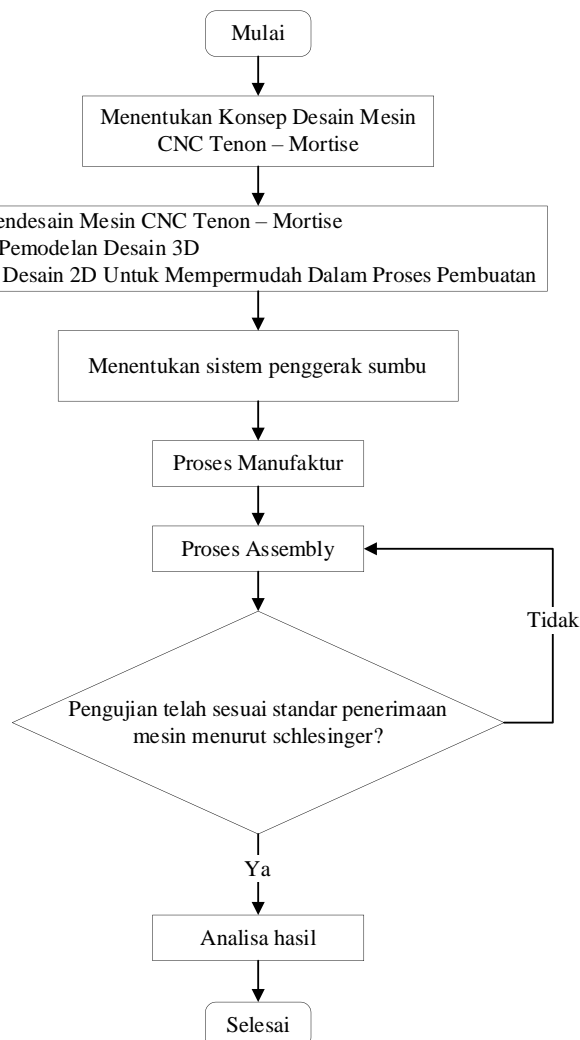


Gambar 2. Pengujian Standar Penerimaan Mesin *Milling*.

Skema pengujian gambar 2 meliputi kesejajaran antara permukaan meja kerja dengan spindel utama (a), kesejajaran antara permukaan meja kerja dengan gerakan longitudinalnya (b), dan pergerakan silang antara meja kerja dan spindel utama (c).

2.4 Diagram alir

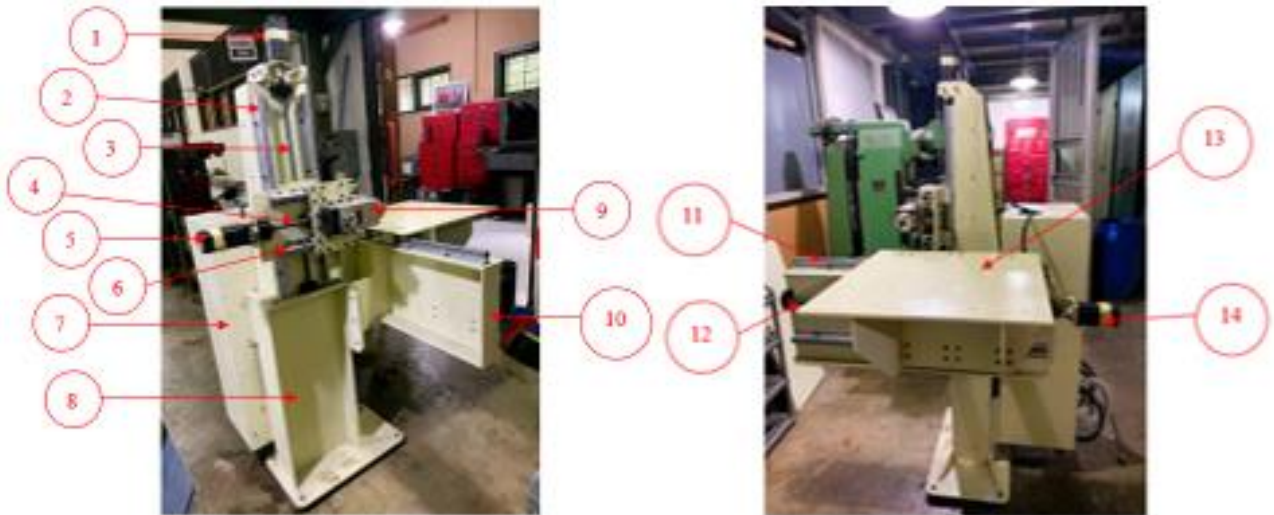
Untuk mempermudah dalam pembuatan mesin CNC *tonon – mortise*, Gambar 3 menjelaskan diagram alir perancangan mesin.



Gambar 3. Diagram Alir Perancangan Mesin.

3. Hasil dan Pembahasan

Setelah seluruh proses fabrikasi dari komponen-komponen mesin CNC *tenon - mortise* selesai, maka dilakukan proses *assembly* untuk menyatukan setiap komponennya. Hasil dari pembuatan mesin CNC *tenon - mortise* ditunjukkan pada Gambar 4 dan Tabel 1 menjelaskan komponen yang terdapat pada mesin tersebut.



Gambar 4. Mesin CNC *Tenon - Mortise*.

Tabel 1. Komponen Mesin CNC *Tenon - Mortise*

No.	Komponen
1.	Motor <i>Stepper Y</i>
2.	<i>Linear Bearing Y</i>
3.	<i>Ballscrew Y</i>
4.	<i>Ballscrew Z</i>
5.	Motor <i>Stepper Z</i>
6.	<i>Linear Bearing Z</i>
7.	<i>Control Box</i>
8.	Badan Mesin
9.	Motor <i>Driver</i>
10.	Sadel (<i>Dudukan Bed</i>)
11.	<i>Linear Bearing X</i>
12.	<i>Ballscrew X</i>
13.	<i>Bed Kerja</i>
14.	Motor <i>Stepper X</i>

3.1. Pengujian Alat

Setelah semua komponen sistem kendali dan sistem mekanis terpasang, maka dibutuhkan pengujian pada mesin CNC *tenon - mortise* berdasarkan standar penerimaan mesin menurut Schlessinger. Proses pengujian merupakan proses pembuktian bahwa rangkaian yang dibuat dapat digunakan sebagai mana mestinya. Dalam pengujian standar penerimaan mesin yang akan dilakukan berupa kesejajaran dan kerataan. Untuk melakukan pengujian membutuhkan alat ukur berupa *precision level*, *dial indicator*, dan *precision square*. Berikut ini hasil dari pengujian yang dilakukan.

- a. Pengujian kedataran meja mesin dengan standar Schlessinger dilakukan dengan menggunakan *precision level* Shanguang yang telah dikalibrasi dengan tingkat ketelitian $\pm 0,02/150\text{mm}$ yang diletakkan sesuai dengan standar Schlessinger. Adapun pengujian yang akan dilakukan harus memenuhi standar Schlessinger, dimana kedataran meja telah ditetapkan yaitu kurang dari $0,04/1000\text{ mm}$. Gambar 5 menunjukkan proses pengukuran kedataran meja dan Tabel 2 menunjukkan hasil dari pengukuran.



Gambar 5. Pengujian Kedataran Meja Mesin.

Tabel 2. Hasil pengujian kedataran meja mesin

No.	Nama Pengujian	Hasil	Permissible Error
1.	Kedataran mesin arah longitudinal (Depan)	$\pm 0,02/150\text{mm}$	$\pm 0,04/1000\text{mm}$
2.	Kedataran mesin arah transversal (Depan)	$\pm 0,04/150\text{mm}$	$\pm 0,04/1000\text{mm}$
3.	Kedataran mesin arah longitudinal (Tengah)	$\pm 0,01/150\text{mm}$	$\pm 0,04/1000\text{mm}$
4.	Kedataran mesin arah transversal (Tengah)	$\pm 0,01/150\text{mm}$	$\pm 0,04/1000\text{mm}$
5.	Kedataran mesin arah longitudinal (Belakang)	$\pm 0,04/150\text{mm}$	$\pm 0,04/1000\text{mm}$
6.	Kedataran mesin arah transversal (Belakang)	$\pm 0,02/150\text{mm}$	$\pm 0,04/1000\text{mm}$

- b. Pengujian *runs out of truth* pada pahat *spindle* mesin dengan standar Schlesinger dilakukan dengan menggunakan *dial indicator* Mitutoyo yang telah dikalibrasi dengan tingkat ketelitian $\pm 0,01\text{mm}$ yang diletakkan sesuai dengan standar Schlesinger. Dengan memutar *spindle* maka akan didapatkan nilai dari *runs out of truth* pada pahat mesin CNC *tenon – mortise*. Nilai acuan yang ditetapkan untuk penyimpangan yaitu 0,01 mm. Gambar 6 merupakan proses pengujian yang dilakukan dan Tabel 3 menjelaskan hasil dari pengukuran.



Gambar 6. Pengujian *runs out of truth spindle*.

Tabel 3. Hasil pengujian *runs out of truth spindle*

No.	Nama Pengujian	Hasil	Permissible Error
1.	<i>Runs out spindle</i>	0,01mm	0,01mm
2.	<i>Axial slip spindle</i>	0mm	0,01mm

- c. Pengujian kesikuan standar Schlesinger antara meja kerja dengan gerakan pahat pada setiap axisnya dilakukan dengan menggunakan alat bantu berupa *precision square* Mitutoyo yang diletakkan pada ragum. Selanjutnya *dial indicator* Mitutoyo dengan ketelitian 0,01 mm di letakkan pada motor *spindle* dengan *feeler* diarahkan tegak lurus dengan permukaan *precision square* seperti ditunjukkan Gambar 7. Dengan menggerakkan masing – masing sumbu gerak sejauh 150mm satu persatu maka didapatkan hasil yang dapat dilihat Tabel 4.



Gambar 7. Pengujian Kesikuan Antara Meja Kerja Dan Gerakan Pahat.

Tabel 4. Hasil pengujian kesikuan antara meja kerja dan gerakan pahat

No.	Nama Pengujian	Hasil	Permissible Error
1.	Kesikuan antara meja kerja dan gerakan pahat sumbu X	0,02/200mm	0,02/300mm
2.	Kesikuan antara meja kerja dan gerakan pahat sumbu Y	0,16/150mm	0,02/300mm
3.	Kesikuan antara meja kerja dan gerakan pahat sumbu Z	0,85/150mm	0,02/300mm

Dari hasil pengujian kesikuan antara meja kerja dan gerakan pahat terdapat *error* pada kesikuan antara meja kerja dengan gerakan pahat sumbu Y sebesar 0,16/150 mm dan kesikuan antara meja kerja dengan gerakan sumbu Z sebesar 0,85/150 mm, sedangkan menurut standar Schlesinger adalah 0,02/300mm. dimana hal tersebut dikarenakan pada *jointing* dengan *welding* mengalami deformasi.

4. Kesimpulan

Mesin CNC *tenon – mortise* menggunakan sistem penggerak *ballscrew* EBB 1605-4 dari produk THK dengan ukuran 16 mm dengan *lead* 5 mm dan dilengkapi *fixed - simple support* pada tumpuannya. Pada pengujian standart Schlesinger masih terdapat *error* dikarenakan saat *jointing* dengan metode *welding* terjadi deformasi. Agar mesin dapat digunakan dengan baik maka perlu melakukan *machining* atau mengganti komponen yang mengalami deformasi dan melakukan penyetingan ulang agar sesuai standart penerimaan mesin Schlesinger.

5. Daftar Pustaka

- [1] E. F. Putra, “Desain Dan Analisa Struktur Platform Micro Lathe Cnc Machine,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
 [2] D. W. Utama, A. Halim, G. Primatri, B. A. Amika, and J. Immanuel, “Perancangan Dan Analisis Rangka Mesin Desktop Cnc Milling,” *Poros*, vol. 16, no. 1, pp. 94–102, 2018, doi: 10.24912/poros.v16i1.6298.

- [3] Z. Zulfikar and Syafri, "Proses Produksi Prototipe Mesin CNC Router 3-axis," *Jom Fteknik*, vol. 4 No. 2, no. 2, pp. 1–6, 2017.
- [4] Widarto, *Teknik Pemesinan*, 1st ed. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008.
- [5] D. Rahdiyanta, *Buku 3 Proses Frais (Milling)*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta, 2010.
- [6] R. Hartono, Sugiharto, and B. Tarigan, "Rancang Bangun Mesin Router NC Untuk Kebutuhan Kriya Seni Kayu," Universitas Pasundan, 2017.
- [7] W. A. Wibowo, "Rancang bangun woodworking cnc machine (wcm) 3 axis (x,y, dan z) menggunakan motor stepper mach3 pc base," p. 130, 2017, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/47406/>.
- [8] NSK, *Precision Machine Components*, no. 364. 2019.
- [9] D. G. Schlesinger, *TESTING MACHINE For the use of Machine Tool Makers*, 4th ed. London: The Machinery Publishing Co., Ltd., London and Brighton, 1949.
- [10] THK, *General Catalog*. England: Acorn Industrial Services Ltd, 2015.