

TESTING DAN KALIBRASI MESIN CNC ENGRAVER MACH-MILL DENGAN RANGE KERJA 400 mm × 240 mm

Muhammad Jun Rezky¹, Bukhari^{2*}, Hamdani²

¹Mahasiswa Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe

²Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jl. Medan –Banda Aceh Km.280 Buketrata

*Penulis Korespondensi: bukhari@pnl.ac.id

Abstract

Selama Revolusi Industri 4.0, teknologi cerdas telah memungkinkan peningkatan kinerja industri. Pada penelitian ini, analisis dan perbaikan sistem penggerak pada spindle Mesin CNC *Engraver* berbasis kontrol *Mach-3* dilakukan untuk mencapai akurasi dan presisi yang diinginkan, melalui pengujian seperti kalibrasi dan uji *repeatability*. Penelitian ini dilakukan dengan metode kalibrasi, *repeatability*, *dial indicator*, dan *testing*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gerak dari sumbu x, y, z sebelum kalibrasi memiliki *error* diangka 80,6 %, 78,2 %, 76,3 % dan setelah kalibrasi 0,2 %, 2,3 %, 0,3 %, hasil *repeatability* pada sumbu x, y, z sebelum kalibrasi 79,7 %, 80,4 %, 83,1 % dan setelah kalibrasi 0,4%, 0,6%, 0,8%. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa ketiga sumbu yang ada pada mesin CNC *engraver* telah bergerak dengan baik dan sesuai dengan perintah yang dimasukkan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan penggunaan terhadap mesin CNC *engraver* dengan akurat dan presisi.

Keywords: Mesin CNC, *engraver*, *testing*, kalibrasi, *repeatability*, kontroler *Mach-3*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Dalam era Revolusi Industri 4.0, teknologi cerdas telah mengubah cara industri beroperasi, dengan tujuan meningkatkan efisiensi dan mengurangi intervensi manusia. Teknologi seperti mesin CNC (*Computer Numerical Control*) berperan penting dalam mewujudkan otomasi ini[1]. Salah satu mesin CNC yang akan dievaluasi adalah CNC *Engraver* yang menggunakan perangkat lunak kontrol *Mach-3*. *Mach-3* memungkinkan komputer desktop untuk menjadi alat kontrol CNC, memfasilitasi proses dari desain hingga pembuatan dengan integrasi CAD[2].

Mesin CNC *Engraver* berbasis *Mach-Mill* ini adalah hasil proyek mahasiswa teknik mesin pada tahun 2023, di mana empat mahasiswa mengerjakan berbagai aspek seperti desain konstruksi, pembuatan, sistem kontrol, dan analisis biaya serta ergonomi. Meskipun mesin ini dapat beroperasi pada tiga sumbu (X, Y, Z), terdapat masalah pada akurasi dan presisi gerakan sumbu yang tidak sesuai dengan perintah yang dimasukkan.

Kalibrasi adalah serangkaian kegiatan untuk menetapkan hubungan dalam kondisi tertentu antara suatu nilai besaran yang ditunjukkan oleh peralatan ukur atau sistem pengukuran, atau nilai yang

dipresentasikan oleh bahan ukur atau bahan acuan dengan nilai terkait yang direalisasikan oleh standar (*Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology-VIM 1993*)[3].

Secara umum, *testing* merupakan proses yang dibuat sedemikian rupa untuk mengidentifikasi ketidaksesuaian hasil sebuah sistem dengan hasil yang diinginkan. Proses evaluasi perangkat lunak atau sistem untuk menentukan apakah berfungsi dengan baik sesuai persyaratan atau spesifikasi yang ditetapkan[4].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan memperbaiki sistem penggerak sumbu pada mesin CNC *Engraver* agar lebih akurat dan presisi. Langkah-langkah yang akan dilakukan meliputi *testing*, kalibrasi, pengukuran *runout* spindle, uji *repeatability*, dan perhitungan standar deviasi untuk memastikan mesin bergerak sesuai perintah yang diberikan melalui *software Mach-3*. Tujuan akhirnya adalah meningkatkan performa dan ketepatan mesin dalam operasi industri.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, berikut perumusan masalah yang terkait pada Mesin CNC *Engraver*:

1. Bagaimana agar gerak sumbu X, Y, Z dapat beroperasi dengan akurat sesuai dengan perintah yang diberikan?
2. Langkah-langkah apa saja yang dilakukan untuk mengatasi masalah pada ketiga sumbu tersebut?
3. Proses permesinan apa yang paling tepat untuk memperbaiki masalah yang ada?
4. Bagaimana jika hasil dari gerak sumbu masih tidak sesuai seperti yang diinginkan?

1.3 Manfaat Penelitian

Berikut ini adalah beberapa manfaat dari penulisan skripsi dengan judul *Testing dan Kalibrasi Mesin CNC Engraver Mach-Mill dengan range kerja 400 mm × 240 mm* adalah sebagai berikut:

1. Memahami lebih dalam mengenai ilmu Mekatronika dan Kalibrasi.
2. Mengoptimalkan keakurasian pada sumbu yang terdapat pada mesin CNC engraver.
3. Meningkatkan hasil gerak sumbu terhadap benda kerja agar mendapatkan ukuran yang sesuai dengan perintah yang dimasukkan ke software *Mach-3*.
4. Meningkatkan hasil pemakanan sesuai dengan perintah atau G-code yang dimasukkan ke software *mach-3*.

2. Metode Penelitian

2.1 Waktu dan Tempat

Testing dan Kalibrasi Mesin CNC Engraving Mach-Mill dengan range kerja 400 mm × 240 mm ini dilakukan di Laboratorium CNC Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe, yang beralamat di Jl. Medan - Banda Aceh No.Km. 280 3, RW. Buketrata, Mesjid Punteut, Kec. Blang Mangat, Kota Lhokseumawe, Aceh 24301.

2.2 Alat Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan dalam proses *testing* dan kalibrasi pada mesin CNC engraver yaitu sebagai berikut:

- a. Mesin CNC
- b. Laptop
- c. Jangka Sorong
- d. Dial Indicator
- e. Tachometer

Adapun bahan yang digunakan untuk melakukan pengujian keakurasian pada spindel mesin CNC Engraver tersebut, yaitu menggunakan bahan akrilik yang berukuran A5 atau 148 mm x 210 mm x 5 mm.

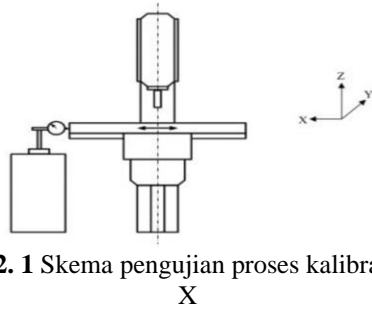
2.3 Prosedur Testing

Prosedur *testing* merupakan suatu langkah penting untuk memastikan mesin berfungsi dengan baik sebelum digunakan. Berikut beberapa prosedur untuk *testing* mesin CNC:

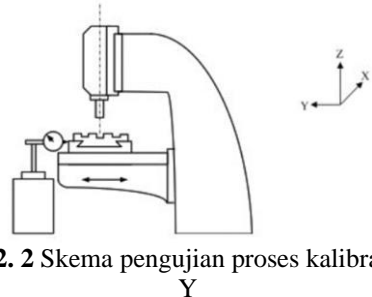
1. Memeriksa koneksi *port* dan listrik sebelum mesin digunakan.
2. Inspeksi visual terhadap mesin untuk memastikan komponen yang longgar, hilang, ataupun rusak.
3. Pergerakan manual pada setiap sumbu untuk memastikan kelancaran pada tiap pergerakannya.
4. Uji *limit switches* dengan menggerakkan sumbu sampai pada batasnya untuk memastikan berfungsi tidaknya *limit switches* tersebut.
5. Melakukan pengujian kecepatan *spindel* mulai dari kecepatan rendah hingga kecepatan tinggi untuk memastikan apakah ada getaran, ketidakstabilan yang terjadi pada *spindel* tersebut.
6. Penghentian darurat pada spindel untuk mengetahui apakah spindel tersebut akan langsung berhenti setelah tombol E-Stop digunakan.
7. Melakukan pergerakan sumbu dengan program untuk memeriksa respon dari sumbu tersebut.
8. Mencatat setiap *testing* yang dilakukan baik masalah yang ada atau tindakan yang diambil.
9. Melakukan pengujian ulang untuk memastikan mesin benar-benar berjalan sebagaimana mestinya.
10. Mesin siap digunakan jika sudah dicek tiap bagian yang ada

2.4 Skema Proses Kalibrasi

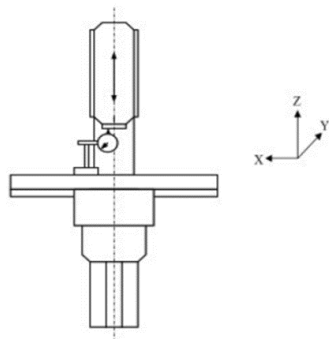
Skema pengambilan data nilai aktual pada saat proses kalibrasi terbagi menjadi tiga, yaitu sumbu gerak X, Y dan Z pada masing-masing kode pemrograman G01, G02 dan G03. Adapun skema tersebut dilakukan sesuai dengan yang ditunjukkan pada Gambar 2.1, Gambar 2.2 dan Gambar 2.3.



Gambar 2. 1 Skema pengujian proses kalibrasi sumbu-X



Gambar 2. 2 Skema pengujian proses kalibrasi sumbu-Y



Gambar 2. 3 Skema pengujian proses kalibrasi sumbu-Z

Dari ketiga skema tersebut akan diperoleh hasil pengukuran simpangan aktual pada masing-masing gerakan meja kerja pada mesin CNC yang dioperasikan dengan perangkat lunak CNC trainer, jika nilai simpangan yang diperoleh sudah merupakan nilai yang dianggap paling optimal maka tahap selanjutnya akan dilakukan uji pemotongan model benda kerja dengan mesin CNC.

Adapun format penulisan koordinat pemrograman dalam proses kalibrasi ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Format penulisan program

N	G	X	Y	Z	F	Keterangan
01	01	10	00	00	50	Kalibrasi sumbu X
02	01	00	10	00	50	Kalibrasi sumbu Y
03	01	00	00	10	50	Kalibrasi sumbu Z

2.5 Prosedur *Repeatability*

1. Menentukan berapa mm yang mau digerakkan untuk setiap sumbu.
2. Posisikan setiap sumbu pada titik yang diinginkan.
3. Masukkan kode G pada *software Mach-3* dengan jarak mm yang telah ditentukan.
4. Setelah bergerak, ukur menggunakan jangka sorong lalu catat nilai yang didapat.
5. Kembalikan lagi posisi sumbu ke posisi awal sebelum bergerak.
6. Ulangi proses tersebut sampai 7 kali untuk mendapatkan sejumlah pengukuran dengan jarak mm yang sama.
7. Catat setiap hasil yang didapat dan hitung standar deviasi dari semua hasil yang telah dicatat tersebut.

2.6 Pengujian Ketelitian Mesin Perkakas

Pengujian ketelitian mesin perkakas dilakukan untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan yang diakibatkan oleh *runout* motor spindel pada mesin CNC yang akan digunakan untuk membuat benda kerja, penyimpangan *runout* pada motor spindel sangat perlu untuk diketahui karena nilai yang diperoleh dari simpangan tersebut nantinya digunakan sebagai salah satu acuan untuk menganalisa penyimpangan yang terjadi saat dilakukannya pengukuran hasil pemotongan pada benda kerja.

Berikut langkah-langkah untuk melakukan pengukuran *runout*:

1. Menyiapkan dial indikator
2. Mengamankan benda kerja: dalam proses ini memasang benda kerja dengan aman pada pelat permukaan untuk mencegah pergerakan apapun selama proses pengukuran.
3. Posisikan dial indikator: selanjutnya posisikan dial indikator sedemikian rupa sehingga spindel bersentuhan dengan permukaan yang akan diukur. Pastikan dial indikator tegak lurus dengan permukaan yang akan diukur untuk *runout* radial dan sejajar dengan permukaan *runout* aksial.
4. Nol dial indikator: putar benda kerja dan sesuaikan dial indikator hingga jarum menunjuk ke nol pada dial ukur.
5. Mengukur kehabisan: putar benda kerja secara perlahan dengan tangan atau menggunakan motor berkecepatan rendah dan pastikan

memutar benda kerja 360 derajat penuh untuk mengukur permukaan secara menyeluruh.

3 Hasil Dan Pembahasan

3.1 Hasil Testing

Sebelum melakukan kalibrasi, alangkah baiknya melakukan *testing* terlebih dahulu pada mesin yang akan diteliti agar bisa mengetahui apakah komponen yang ada pada mesin tersebut bekerja dengan baik atau tidak. Berikut hasil *testing* mesin CNC *engraver* yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. 1 *Testing* Mesin CNC

No	Parameter Uji	Deskripsi Pengujian	Hasil
1	Pemeriksaan port dan listrik sebelum mesin digunakan	Memastikan semua kabel dan koneksi listrik terhubung dengan benar	Kabel yang digunakan telah terhubung dengan benar
2	Inspeksi Visual	Memastikan komponen yang hilang ataupun rusak	Komponen yang ada tidak hilang ataupun rusak
3	Gerak manual sumbu	Untuk memastikan kelancaran sumbu pada setiap gerakannya	Ketika digerakkan manual, masih terasa sedikit kesat tapi tidak sampai mempengaruhi gerak sumbu.
4	Uji limit switches	Menggerakkan sumbu sampai pada batas gerakannya	Limit switches berfungsi dengan baik
5	Uji kecepatan spindel	Mulai kecepatan spindel dari rendah hingga tinggi untuk memastikan getaran pada spindel	Dari hasil yang dilakukan, spindel masih sedikit terdapat getaran
6	Emergency stop	Untuk mengetahui apakah mesin langsung berhenti saat e-stop digunakan	Ketika e-stop digunakan, mesin langsung mati dan berhenti bekerja, tapi spindel tidak berhenti dikarenakan cara

			mengaktifkan spindel masih manual
7	Gerak sumbu dengan program	Memastikan merespon dengan baik	Sumbu yang terdapat pada mesin CNC merespon dengan baik

3.2 Pengujian Kalibrasi

3.2.1 Sebelum Kalibrasi

Sebelum melakukan kalibrasi, terlebih dahulu melakukan perhitungan motor *tuning* agar sesuai dengan spesifikasi motor *stepper* yang dipakai pada CNC *engraver*, dan perhitungannya adalah sebagai berikut:

a. *Step/mm*:

$$\begin{aligned} \frac{\text{Step}}{\text{mm}} &= \frac{\text{Step per revolution} \times \text{Microsteps}}{\text{Pitch}} \\ &= \frac{200 \times 8}{2} \\ &= \frac{1.600}{2} \\ &= 800 \end{aligned}$$

b. *Velocity*:

$$\begin{aligned} \text{Velocity} &= \frac{\text{kecepatan yang diinginkan} \left(\frac{\text{mm}}{\text{min}}\right) \times 60}{\frac{\text{step}}{\text{mm}}} \\ &= \frac{500 \times 60}{\frac{100}{300.000}} \\ &= \frac{300.000}{100} \\ &= 300 \text{ mm/min} \end{aligned}$$

c. *Accelaration*:

$$\begin{aligned} \text{Accelaration} &= \frac{\text{percepatan yang diinginkan}(\text{mm/sec}^2) \times \frac{\text{step}}{\text{mm}}}{60} \\ &= \frac{40 \times 100}{\frac{60}{4.000}} \\ &= \frac{60}{60} \\ &= 66,6 \text{ mm/sec}^2 \end{aligned}$$

Tabel 3. 2 Nilai *error* sebelum kalibrasi sumbu X

No	Sumbu-X		SEBELUM KALIBRASI			
	Step Input (mm)	Posisi Awal (mm)	Posisi Akhir (mm)	Measured Value (mm)	Error (mm)	Error (%)
1	1,0	45,9	47,7	1,8	0,8	80,0
2	2,0	46,0	49,9	3,9	1,9	95,0
3	3,0	46,0	51,4	5,4	2,4	80,0
4	4,0	46,1	53,1	7,0	3,0	75,0
5	5,0	45,9	54,4	8,5	3,5	70,0
6	10,0	45,9	64,1	18,2	8,2	82,0
7	20,0	45,9	82,3	36,4	16,4	82,0
8	30,0	46,0	100,0	54,0	24,0	80,0
9	40,0	46,1	118,2	72,1	32,1	80,3
10	50,0	45,1	136,1	91,0	41,0	82,0
					Rata-rata	80,6

Tabel 3. 3 Nilai *error* sebelum kalibrasi sumbu Y

No	Sumbu-Y		SEBELUM KALIBRASI			
	Step Input (mm)	Posisi Awal (mm)	Posisi Akhir (mm)	Measured Value (mm)	Error (mm)	Error (%)
1	1,0	130,3	128,7	1,6	0,6	60,0
2	2,0	130,4	126,8	3,6	1,6	80,0
3	3,0	130,4	125,0	5,4	2,4	80,0
4	4,0	130,3	123,2	7,1	3,1	77,5
5	5,0	130,4	121,3	9,1	4,1	82,0
6	10,0	130,3	112,3	18,0	8,0	80,0
7	20,0	130,3	94,1	36,2	16,2	81,0
8	30,0	130,2	76,2	54,0	24,0	80,0
9	40,0	130,2	58,0	72,2	32,2	80,5
10	50,0	130,3	40,0	90,3	40,3	80,6
					Rata-rata	78,2

Tabel 3. 4 Nilai *error* sebelum kalibrasi sumbu Z

No	Sumbu-Z		SEBELUM KALIBRASI			
	Step Input (mm)	Posisi Awal (mm)	Posisi Akhir (mm)	Measured Value (mm)	Error (mm)	Error (%)
1	1,0	54,2	55,8	1,6	0,6	60,0
2	2,0	54,0	57,7	3,7	1,7	85,0
3	3,0	54,1	59,5	5,4	2,4	80,0
4	4,0	54,1	61,3	7,2	3,2	80,0
5	5,0	54,0	63,2	9,2	4,2	84,0
6	10,0	54,0	72,1	18,1	8,1	81,0
7	20,0	54,0	90,0	36,0	16,0	80,0
8	30,0	54,0	108,1	54,1	24,1	80,3
9	40,0	54,0	126,1	72,1	32,1	80,3
10	50,0	53,9	130,2	76,3	26,3	52,6
					Rata-rata	76,3

Berdasarkan pada tabel 3.2, 3.4 dan 3.4 menunjukkan bahwa nilai *error* yang didapat pada sumbu X, Y, Z masih tergolong besar dan jauh dari apa yang diinginkan. Oleh karena itu, maka akan dilakukan perhitungan *tuning* selanjutnya untuk mendapatkan hasil yang lebih baik lagi.

3.2.2 Setelah Kalibrasi

Pada pengujian sebelum kalibrasi, nilai *error* yang didapat masih sangat besar sehingga dilakukan lagi pengujian setelah kalibrasi agar bisa mendapatkan nilai *error* yang lebih rendah sehingga gerak dari sumbu yang terdapat pada mesin CNC jauh lebih baik. Perhitungan motor *tuning* kedua adalah sebagai berikut:

a. *Step/mm*:

$$\frac{\text{Step}}{\text{mm}} = \frac{\text{Step per revolution} \times \text{Microsteps}}{\text{Pitch}}$$

$$= \frac{200 \times 1}{2}$$

$$= 100$$

b. *Velocity*:

Velocity

$$= \frac{\text{kecepatan yang diinginkan} \left(\frac{\text{mm}}{\text{min}}\right) \times 60}{\frac{\text{step}}{\text{mm}}}$$

$$= \frac{1700 \times 60}{102.000}$$

$$= 1020 \text{ mm/min}$$

c. *Accelaration*:

Accelaration

$$= \frac{\text{percepatan yang diinginkan}(\text{mm/sec}^2) \times \frac{\text{step}}{\text{mm}}}{60}$$

$$= \frac{100 \times 100}{60}$$

$$= 166 \text{ mm/sec}^2$$

Setelah melakukan perhitungan setelah kalibrasi, selanjutnya melakukan gerak pada ketiga sumbu yang terdapat pada mesin CNC, Pengujian setelah kalibrasi dilakukan dengan jarak langkah 1 mm sampai dengan 120 mm seperti pada pengujian sebelum kalibrasi, berikut hasil gerak sumbu pengujian kalibrasi dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. 5 Nilai *error* setelah kalibrasi sumbu X

No	Sumbu-X		SETELAH KALIBRASI			
	Step Input (mm)	Posisi Awal (mm)	Posisi Akhir (mm)	Measured Value (mm)	Error (mm)	Error (%)
1	1,0	74,9	75,9	1,0	0,0	0,0
2	2,0	73,9	75,9	2,0	0,0	0,0
3	3,0	73,9	76,9	3,0	0,0	0,0
4	4,0	73,9	77,9	4,0	0,0	0,0
5	5,0	73,9	78,8	4,9	-0,1	-2,0
6	10,0	73,9	83,9	10,0	0,0	0,0
7	20,0	73,9	93,9	20,0	0,0	0,0
8	40,0	73,9	113,9	40,0	0,0	0,0
9	80,0	73,9	153,9	80,0	0,0	0,0
10	120,0	28,9	149,0	120,1	0,1	0,1
					Rata-rata	-0,2

Tabel 3. 6 Nilai *error* setelah kalibrasi sumbu Y

No	Sumbu-Y		SETELAH KALIBRASI			
	Step Input (mm)	Posisi Awal (mm)	Posisi Akhir (mm)	Measured Value (mm)	Error (mm)	Error (%)
1	1,0	144,3	143,1	1,2	0,2	20,0
2	2,0	145,1	143,1	2,0	0,0	0,0
3	3,0	145,2	142,2	3,0	0,0	0,0
4	4,0	145,1	141,1	4,0	0,0	0,0
5	5,0	145,2	140,1	5,1	0,1	2,0
6	10,0	145,1	135,2	9,9	-0,1	-1,0
7	20,0	145,1	125,0	20,1	0,1	0,5
8	40,0	145,2	104,9	40,3	0,3	0,7
9	80,0	145,0	64,7	80,3	0,3	0,4
10	120,0	145,0	24,8	120,2	0,2	0,2
					Rata-rata	2,3

Tabel 3. 7 Nilai *error* setelah kalibrasi sumbu Y

No	Sumbu-Z		SETELAH KALIBRASI			
	Step Input (mm)	Posisi Awal (mm)	Posisi Akhir (mm)	Measured Value (mm)	Error (mm)	Error (%)
1	1,0	53,4	54,4	1,0	0,0	0,0
2	2,0	53,4	55,4	2,0	0,0	0,0
3	3,0	53,4	56,4	3,0	0,0	0,0
4	4,0	53,4	57,4	4,0	0,0	0,0
5	5,0	53,4	58,5	5,1	0,1	2,0
6	10,0	53,4	63,4	10,0	0,0	0,0
7	20,0	53,4	73,5	20,1	0,1	0,5
8	30,0	53,4	83,5	30,1	0,1	0,3
9	40,0	53,4	93,5	40,1	0,1	0,3
10	50,0	53,4	103,5	50,1	0,1	0,2
					Rata-rata	0,3

Berdasarkan tabel 3.5, 3.6, dan 3.7 didapatkan nilai *error* pada ketiga sumbu dengan nilai rata-rata *error* yaitu sumbu X 0,2 %, sumbu Y 2,3 %, dan sumbu Z 0,3 %. Dari hasil yang didapat, motor *tuning* sangat berpengaruh dalam proses kalibrasi terutama pada *step* per karena pada sebelum kalibrasi nilai *error* yang didapat sangat besar, akan tetapi pada setelah kalibrasi didapatkan nilai *error* yang jauh lebih kecil, dalam arti lain kalibrasi terdapat pada *software mach-3* terutama pada motor *tuning* dan *step* per juga berpengaruh pada proses kalibrasi.

3.3 Pengujian Repeatability

3.3.1 Sebelum Kalibrasi

Setelah dilakukan perhitungan pada motor *tuning* sebelum kalibrasi, tahap selanjutnya akan dilakukan uji *repeatability* dengan nilai *tuning* yang terdapat pada tabel 3.8 untuk mengetahui konsistensi gerak sumbu sebelum kalibrasi dengan hasil *error* adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 8 Hasil uji *repeatability* sumbu X

No	Sumbu-X		SEBELUM KALIBRASI			
	Step Input (mm)	Posisi Awal (mm)	Posisi Akhir (mm)	Measured Value (mm)	Error (mm)	Error (%)
1	10,0	46,0	64,3	18,3	8,3	83,0
2	10,0	46,0	63,9	17,9	7,9	79,0
3	10,0	46,0	64,0	18,0	8,0	80,0
4	10,0	45,9	63,9	18,0	8,0	80,0
5	10,0	46,0	63,9	17,9	7,9	79,0
6	10,0	46,1	63,9	17,8	7,8	78,0
7	10,0	46,0	63,9	17,9	7,9	79,0
Rata-rata						79,7

Tabel 3. 9 Hasil uji *repeatability* sumbu Y

No	Sumbu-Y		SEBELUM KALIBRASI			
	Step Input (mm)	Posisi Awal (mm)	Posisi Akhir (mm)	Measured Value (mm)	Error (mm)	Error (%)
1	10,0	85,2	67,1	18,1	8,1	81,0
2	10,0	85,1	67,1	18,0	8,0	80,0
3	10,0	85,2	67,2	18,0	8,0	80,0
4	10,0	85,2	67,1	18,1	8,1	81,0
5	10,0	85,1	67,1	18,0	8,0	80,0
6	10,0	85,2	67,1	18,1	8,1	81,0
7	10,0	85,1	67,1	18,0	8,0	80,0
Rata-rata						80,4

Tabel 3. 10 Hasil uji *repeatability* sumbu Z

No	Sumbu-Z		SEBELUM KALIBRASI			
	Step Input (mm)	Posisi Awal (mm)	Posisi Akhir (mm)	Measured Value (mm)	Error (mm)	Error (%)
1	10,0	61,7	81,6	19,9	51,7	99,0
2	10,0	63,6	81,8	18,2	53,6	82,0
3	10,0	63,5	81,6	18,1	53,5	81,0
4	10,0	63,6	81,5	17,9	53,6	79,0
5	10,0	63,5	81,5	18,0	53,5	80,0
6	10,0	63,5	81,6	18,1	53,5	81,0
7	10,0	63,5	81,5	18,0	53,5	80,0
Rata-rata						83,1

Hasil ketiga sumbu diatas menunjukkan *error* yang didapat untuk nilai *tuning* sebelum kalibrasi pada sumbu X sebesar 79,7%, sumbu Y 80,4%, sumbu Z 83,1%. *Error* tersebut menunjukkan hasil yang masih belum sesuai dengan yang diinginkan, oleh karena itu akan dilakukan perhitungan kedua motor *tuning* agar bisa mengurangi *error* tersebut.

3.3.2 Setelah Kalibrasi

Pada sebelum kalibrasi hasil *error* yang didapat pada ketiga sumbu masih besar, yang dimana berarti belum bergerak sesuai dengan perintah yang dimasukkan ke *software mach-3*. Oleh karena itu, dilakukan lagi setelah kalibrasi agar *error* tersebut dapat menurun dan bergerak sesuai perintah yang ada, berikut hasil setelah kalibrasi dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 3. 11 Hasil uji *repeatability* sumbu X

No	Sumbu-X		SETELAH KALIBRASI			
	Step Input (mm)	Posisi Awal (mm)	Posisi Akhir (mm)	Measured Value (mm)	Error (mm)	Error (%)
1	10,0	46,0	56,0	10,0	0,0	0,0
2	10,0	46,0	56,0	10,0	0,0	0,0
3	10,0	46,0	55,9	9,9	-0,1	-1,0
4	10,0	46,0	56,0	10,0	0,0	0,0
5	10,0	46,0	55,9	9,9	-0,1	-1,0
6	10,0	45,9	55,9	10,0	0,0	0,0
7	10,0	46,0	55,9	9,9	-0,1	-1,0
Rata-rata						-0,4

Tabel 3. 12 Hasil uji *repeatability* sumbu Y

No	Sumbu-Y		SETELAH KALIBRASI			
	Step Input (mm)	Posisi Awal (mm)	Posisi Akhir (mm)	Measured Value (mm)	Error (mm)	Error (%)
1	10,0	67,0	57,1	9,9	-0,1	-1,0
2	10,0	67,1	57,1	10,0	0,0	0,0
3	10,0	67,1	57,1	10,0	0,0	0,0
4	10,0	67,0	57,1	9,9	-0,1	-1,0
5	10,0	67,0	57,1	9,9	-0,1	-1,0
6	10,0	67,0	57,1	9,9	-0,1	-1,0
7	10,0	67,1	57,1	10,0	0,0	0,0
Rata-rata						-0,6

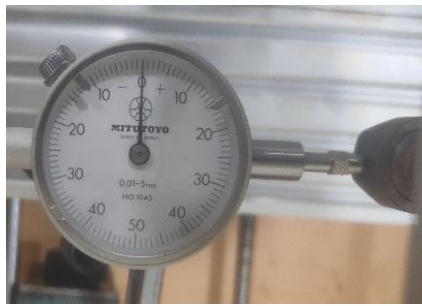
Tabel 3. 13 Hasil uji *repeatability* sumbu Z

No	Sumbu-Z		SETELAH KALIBRASI			
	Step Input (mm)	Posisi Awal (mm)	Posisi Akhir (mm)	Measured Value (mm)	Error (mm)	Error (%)
1	10,0	58,5	68,7	10,2	0,2	2,0
2	10,0	58,5	68,6	10,1	0,1	1,0
3	10,0	58,6	68,6	10,0	0,0	0,4
4	10,0	58,6	68,7	10,1	0,1	1,0
5	10,0	58,5	68,6	10,1	0,1	1,0
6	10,0	58,6	68,6	10,0	0,0	0,0
7	10,0	58,6	68,6	10,0	0,0	0,0
Rata-rata						0,8

Pada tabel diatas rata-rata *error* yang didapat untuk nilai *tuning* setelah kalibrasi yaitu sumbu X 0,4%, sumbu Y 0,6%, dan sumbu Z 0,8%, dari hasil tersebut menunjukkan nilai *error* yang didapat sudah sangat berkurang dari sebelumnya. *Error* tersebut sudah cukup untuk mesin CNC *engraver* yang diteliti.

3.4 Hasil Pengujian Runout

Setelah dilakukan perhitungan motor *tuning* baik untuk sebelum kalibrasi maupun setelah kalibrasi, selanjutnya dilakukan pengukuran *runout* pada poros spindel agar dapat mengetahui nilai *runout* tersebut. Berikut hasil *runout* yang didapat pada poros *spindel* mesin CNC *Engraver Mach-Mill*:



Gambar 3. 1 Titik Awal



Gambar 3. 2 Nilai yang didapat

Gambar 3.2 menunjukkan nilai yang didapat setelah spindle diputar 360° yaitu 0,20 mm atau 200 μm . Akan tetapi, hasil yang didapat akan tetap bagus karena CNC engraver ini dibuat untuk penggunaan industri kreatif dalam membuat produk seperti souvenir, kesenian, dan lain-lain. Nilai runout 0,20 mm sudah cukup digunakan untuk mengukir benda kerja seperti kayu, akrilik, dan lain-lain.

3.5 Standar Deviasi

3.5.1 Sebelum Kalibrasi

Hal ini dilakukan agar mendapatkan nilai deviasi pada ketiga sumbu yang terdapat di mesin CNC, berikut ini perhitungan standar deviasi sumbu X, Y, Z:

A. Sumbu X

- Mean (rata-rata):

$$\text{Mean} = \frac{0,8 + 1,9 + 2,4 + 3,0 + 3,5 + 8,2 + 16,4 + 24,0 + 32,1 + 41,0}{10}$$

$$\text{Mean} = \frac{133,3}{10}$$

$$\text{Mean} = 13,3$$

- Variansi:

$$\begin{aligned} \text{Variansi} &= \frac{(12,5)^2 + (11,4)^2 + (10,9)^2 + (10,3)^2 + (9,8)^2 + (5,1)^2 + (-3,0)^2 + (10,6)^2 + (18,7)^2 + (27,6)^2}{10 - 1} \\ &= \frac{1877,98}{9} \\ &= 208,66 \end{aligned}$$

- Standar Deviasi:

$$\begin{aligned} \text{Deviasi} &= \sqrt{208,66} \\ \text{Deviasi} &= 14,4452 \end{aligned}$$

B. Sumbu Y

- Mean (rata-rata) = 13,25
- Variansi = 204,76

- Standar Deviasi = 14,3095

C. Sumbu Z

- Mean (rata-rata) = 11,87
- Variansi = 139,16
- Standar Deviasi = 11,7966

Dari hasil perhitungan diatas, nilai yang didapat masih sangat jauh dari toleransi deviasi mesin CNC.

3.5.2 Setelah Kalibrasi

Hal ini dilakukan agar mendapatkan nilai deviasi, Berikut perhitungan standar deviasi sumbu X, Y, Z:

A. Sumbu X

- Mean (rata-rata):

$$\begin{aligned} \text{Mean} &= \frac{0,0 + 0,0 + 0,0 + 0,0 - 0,1 + 0,0 + 0,0 + 0,0 + 0,0 + 0,1}{10} \\ \text{Mean} &= \frac{0,0}{10} \\ \text{Mean} &= 0,0 \end{aligned}$$

- Variansi:

$$\begin{aligned} \text{Variansi} &= \frac{(0)^2 + (0)^2 + (0)^2 + (0)^2 + (-0,1)^2 + (0)^2 + (0)^2 + (0)^2 + (0)^2 + (0,1)^2}{10 - 1} \\ &= \frac{0 + 0 + 0 + 0 + 0,01 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0,01}{9} \\ &= \frac{0,02}{9} \\ &= 0,002 \end{aligned}$$

- Standar Deviasi:

$$\begin{aligned} \text{Deviasi} &= \sqrt{0,002} \\ \text{Deviasi} &= 0,447 \end{aligned}$$

B. Sumbu Y

- Mean (rata-rata) = 0,11
- Variansi = 0,0187
- Standar Deviasi = 0,136

C. Sumbu Z

- Mean (rata-rata) = 0,05
- Variansi = 0,0027
- Standar Deviasi = 0,051

Dari hasil perhitungan diatas, nilai deviasi yang didapat setelah kalibrasi sudah berkurang dan mendekati toleransi deviasi mesin CNC.

4 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Hasil *testing* menunjukkan bahwa setiap komponen yang ada pada mesin CNC dalam keadaan baik untuk dioperasikan.
2. Setelah kalibrasi, terjadi penurunan signifikan pada nilai *error*, menjadi 0,2% pada sumbu X, 2,3% pada sumbu Y, dan 0,3% pada sumbu Z.
3. Setelah dilakukan kalibrasi, *error* pada uji *repeatability* berhasil dikurangi secara signifikan menjadi 0,4% pada sumbu X, 0,6% pada sumbu Y, dan 0,8% pada sumbu Z.
4. Nilai *runout* yang didapat yaitu 0,20 mm.

5. Perhitungan standar deviasi setelah kalibrasi untuk sumbu X, Y, dan Z, diperoleh sumbu X standar deviasi 0,447. Untuk sumbu Y, standar deviasi 0,136. Sedangkan untuk sumbu Z, standar deviasi 0,051.

5 Daftar Pustaka

- [1] Apriadi and M Leza, ""Perancangan Mesin CNC (Computer Numerical Control) Router Dengan Aplikasi GRBL 0.9 Control 3 Axis Sistem X,Y dan Z (Hardware)". Politeknik Negeri Sriwijaya.,".
- [2] M. Amala and S. A. Widyanto, "Pengembangan Perangkat Lunak Sistem Operasi Mesin Milling Cnc Trainer," 2014.
- [3] Anom Irawan, "Spektrofotom Eter Sebagai Penjaminan Mutu Hasil Pengukuran Dalam Kegiatan Peneliti An Dan Pengujian," Online, 2019.
- [4] Vita Anggraini, "*Testing*: Pengertian ,Tujuan, Prinsip, dan Manfaat." Accessed: Mar. 24, 2024. [Online]. Available: [https:// dosenpintar. com/ testing](https://dosenpintar.com/testing) adalah /# Tujuan_ *Testing*