

Desain dan Pembuatan Mesin CNC *Milling* untuk Pembuatan Ukiran Kerajinan Kayu

Sunarto*, Hartono, Carli, Daryadi, Bambang Tjahjono, Trio Setiyawan

Jurusan Teknik mesin, Politeknik Negeri Semarang
Jln. Prof. Sudarto S.H. Tembalang, Semarang 50061

*E-mail: sunarto.polines@gmail.com

Diterima: 05-04-2022; Direvisi: 19-04-2021; Dipublikasi: 30-04-2022

Abstrak

Industri mebel adalah industri yang mengolah bahan baku atau bahan setengah jadi dari kayu, rotan dan bahan baku alam lainnya menjadi produk jadi yang siap pakai dan memiliki nilai tambah yang lebih tinggi. Industri mebel banyak tersebar di Indonesia, dengan sentra yang cukup besar berada di Jepara, Sukoharjo, Surakarta, Klaten, dan lain-lain. Seiring dengan perkembangan teknologi industri, membuat pekerjaan menjadi lebih efisien dan mudah. Oleh karena itu, perlu diterapkannya teknologi dalam dunia industri di Indonesia khususnya pada industri mebel. Teknologi saat ini yang umum diterapkan pada industri mebel adalah mesin milling CNC. Penggunaan mesin CNC ini bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan dalam produksi kerajinan ukir kayu atau furniture, seperti produk massal yang tidak bisa sama dan waktu pengerjaan produk yang tidak bisa dipastikan. Selain itu, penggunaan mesin CNC ini dapat mengurangi waktu siklus dan meningkatkan efisiensi kerja industri mebel. Berdasarkan informasi tersebut, kami memiliki ide untuk membuat mesin penggilingan CNC ini untuk mendukung kemajuan industri furnitur Indonesia. Selama pembuatan mesin CNC ini, kami melakukan penelitian teoritis dan survei lapangan. Tahapan penelitian yang kami lakukan adalah identifikasi kebutuhan, perumusan masalah, sintesis, analisis, evaluasi dan presentasi. Berdasarkan hasil ini, ditemukan bahwa bahan baku yang dapat dikerjakan memiliki dimensi maksimum 40×40 [cm], laju umpan maksimum 192 [mm/menit], kecepatan putar spindle maksimum 12.000 [rpm] dan pemotongan kecepatan 75,4 [m/mnt] dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa Nilai penyimpangan ukuran benda kerja hasil pengerjaan dalam aspek garis lurus dan radius atau kelonjongan sebesar 0,1-0,2 [mm], sedangkan pada aspek sudut tidak terjadi penyimpangan. Sesuai hasil tersebut menunjukkan penyimpangan yang terjadi masih dalam batas toleransi dan Nilai *velocity cutting* terbaik untuk melakukan pemakanan pada material kayu adalah pada 45,9-75,4 [m/min] dengan kedalaman maksimal 1,2-1,5 [mm]. dengan spesifikasi mesin.

Kata kunci: Industri Mabel; Mesin CNC Milling; Bahan Kayu

Abstrak

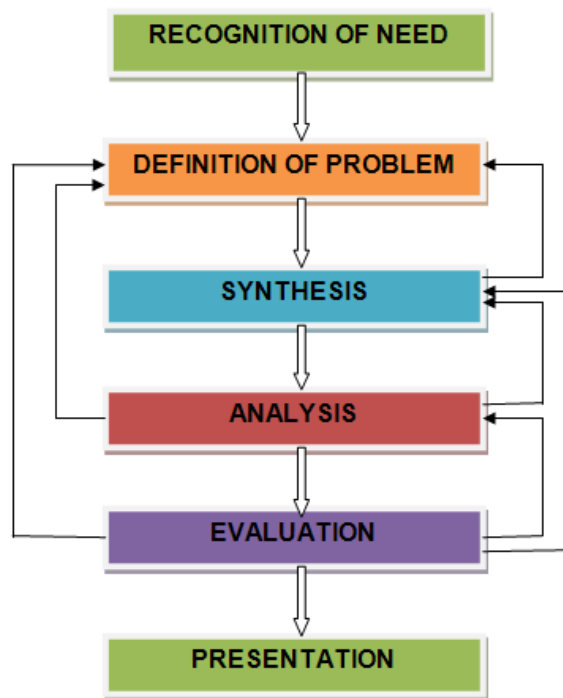
The furniture industry is an industry that processes raw materials or semi-finished materials from wood, rattan and other natural raw materials into finished products that are ready for use and have higher added value. There are many furniture industries spread across Indonesia, with quite large centers located in Jepara, Sukoharjo, Surakarta, Klaten, and others. Along with the development of industrial technology, making work becomes more efficient and easier. Therefore, it is necessary to apply technology in the industrial world in Indonesia, especially in the furniture industry. The current technology commonly applied to the furniture industry is the CNC milling machine. The use of this CNC machine aims to solve problems in the production of wood carving crafts or furniture, such as mass products that cannot be the same and product processing time that cannot be ascertained. Besides, the use of this CNC machine can reduce cycle times and increase the work efficiency of the furniture industry. Based on this information, we had the idea to make this CNC milling machine to support the progress of the Indonesian furniture industry. During the manufacturing of this CNC machine, we carried out theoretical research and field surveys. The research stages we carried out were identification of needs, problem formulation, synthesis, analysis, evaluation and presentation. Based on these results, it was found that the workable raw material had a maximum dimension of 40×40 [cm], a maximum feed rate of 192 [mm/min], a maximum spindle rotating speed of 12,000 [rpm] and a cutting velocity of 75.4 [m/min]. from this study it can be concluded that the deviation value of the workpiece size as a result of the work in the aspect of a straight line and a radius or oval is 0.1-0.2 [mm], while in the aspect of an angle there is no deviation. According to these results, the deviations that occur are still within tolerance limits and the best cutting velocity value for feeding wood material is at 45.9-75.4 [m/min] with a maximum depth of 1.2-1.5 [mm]. with machine specifications.

Keywords: Furniture industry; CNC Milling Machine; Wood Material

1. Pendahuluan

Industri mebel adalah industri yang mengolah bahan baku atau bahan setengah jadi dari kayu, rotan dan bahan baku alam lainnya menjadi produk jadi yang siap pakai dan memiliki nilai tambah yang lebih tinggi. Industri mebel banyak tersebar di Indonesia, dengan sentra yang cukup besar berada di Jepara, Sukoharjo, Surakarta, Klaten, dan lain-lain. Seiring dengan perkembangan teknologi industri, membuat pekerjaan menjadi lebih efisien dan mudah. Oleh karena itu, perlu diterapkannya teknologi dalam dunia industri di Indonesia khususnya pada industri mebel. Teknologi saat ini yang umum diterapkan pada industri mebel adalah mesin milling CNC. Penggunaan mesin CNC ini bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan dalam produksi kerajinan ukir kayu atau furniture, seperti produk massal yang tidak bisa sama dan waktu pengerjaan produk yang tidak bisa dipastikan. Selain itu, penggunaan mesin CNC ini dapat mengurangi waktu siklus dan meningkatkan efisiensi kerja industri mebel. Berdasarkan informasi tersebut, kami memiliki ide untuk membuat mesin penggilingan CNC ini untuk mendukung kemajuan industri furnitur Indonesia. Selama pembuatan mesin CNC ini, kami melakukan penelitian teoritis dan survei lapangan. Tahapan penelitian yang kami lakukan adalah identifikasi kebutuhan,

2. Metodologi



Gambar 1. Proses Perancangan Shigley-Mitchell

Tahapan pada proses perancangan Model Shigley-Mitchell di atas dapat dijelaskan seperti berikut ini [9]

a. *Recognition of need* (Identifikasi kebutuhan)

Proses perancangan dimulai dengan diidentifikasinya suatu kebutuhan akan suatu produk oleh seseorang, yang menyadari adanya suatu *problem* yang akan terpecahkan jika diciptakan produk baru atau modifikasi produk yang telah ada.

b. *Definition of problem* (Perumusan masalah)

Pada tahap ini kegiatan yang dilakukan adalah merumuskan masalah tentang produk yang dibutuhkan, yang akan menghasilkan arahan perancangan. Sekaligus menentukan spesifikasi produk yang akan dirancang, seperti prestasi kerja yang harus dicapai, fungsi, dan lain-lain.

c. *Synthesis* (Sintesis)

Tahap sintesis merupakan tahap pencarian macam atau bentuk produk yang dapat memenuhi kebutuhan seperti yang telah didefinisikan di atas. Pada langkah ini dicoba ditemukan sebanyak mungkin alternatif tentang konsep produk.

d. *Analysis* (Analisis)

Beberapa alternatif konsep produk pada tahap sintesis kemudian dipilih untuk dianalisis lebih lanjut. Analisis ini meliputi analisis gaya, tegangan, deformasi, getaran dan lain-lain.

e. *Evaluation* (Evaluasi)

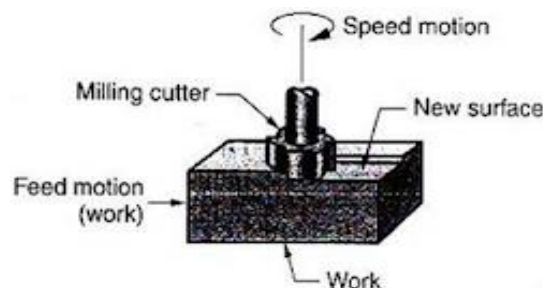
Hasil dari langkah analisis dan sintesis dievaluasi atau diukur terhadap spesifikasi yang telah ditentukan. Pada langkah ini dapat timbul keperluan dibuatnya model atau *prototype* untuk maksud pengukuran kualitas, keandalan, dan beberapa kriteria lainnya.

f. *Presentation* (Presentasi)

Langkah akhir dari proses perancangan adalah langkah presentasi, yakni kegiatan menyusun dokumen hasil perancangan dalam bentuk gambar lengkap atau gambar kerja (*working drawing*), daftar komponen, spesifikasi bahan, dan informasi lainnya untuk keperluan proses pembuatan.

2.2. Prinsip Kerja Mesin

Mesin perkakas CNC adalah mesin perkakas yang dalam pengoperasian adalah proses penyayatan benda kerja oleh pahat dibantu dengan kontrol numerik komputer atau CNC (*Computer Numerical Control*) [3]. Alat potong atau *cutting tool* berputar pada *spindle*-nya dan benda kerja bergerak kearah memanjang dan melintang sejauh pemotongan yang diinginkan. Pergerakan pahat pada mesin perkakas CNC disepakati menggunakan sistem koordinat. Sistem koordinat pada mesin CNC *milling* adalah sistem koordinat dengan tiga sumbu/aksis yaitu sumbu X, Y dan sumbu Z. Sumbu X didefinisikan sebagai sumbu yang bergerak horizontal, sumbu Y didefinisikan sebagai sumbu yang bergerak melintang dan sumbu Z didefinisikan sebagai sumbu yang bergerak vertikal.



Gambar 2. Prinsip Kerja CNC Milling [5]

Secara umum, prinsip kerja dari mesin CNC milling adalah dengan membaca program CNC yang dibuat oleh programmer dengan cara mengetik langsung pada mesin atau membuat program pada software pemrograman CNC[6].

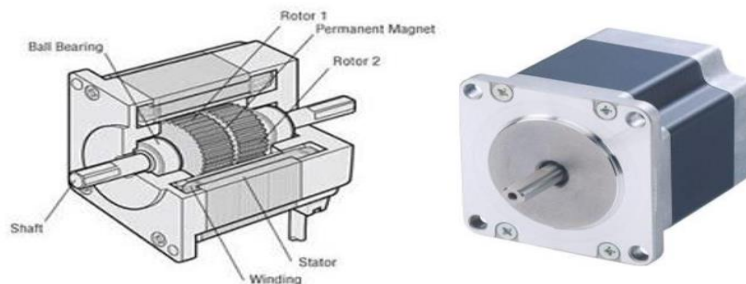
Selanjutnya, program CNC yang lebih dikenal dengan G-Code tersebut akan dikirim dan dieksekusi oleh *processor* untuk menggerakkan perkakas-perkakas di dalam mesin hingga menghasilkan produk yang sesuai dengan program.

2.2. Hardware Sistem Kontrol

Hardware pada sistem kontrol merupakan perangkat keras (peralatan) yang digunakan dalam sistem kontrol mesin CNC 3 aksis [13]. Adapun beberapa *hardware* yang digunakan dalam sistem kontrol mesin CNC adalah *stepper motor*, *driver motor*, *breakout board*, *power supply*, kabel-kabel dan PC.

a. Stepper motor

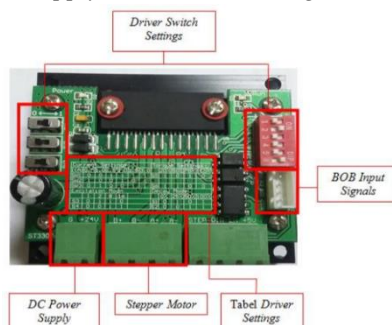
Stepper motor adalah seperangkat alat elektromekanis yang bekerja dengan mengubah pulsa elektronis menjadi gerakan mekanis diskrit [6]. *Stepper motor* bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor. Karena itu, untuk menggerakkan *stepper motor* diperlukan pengendali *stepper motor* yang membangkitkan pulsa-pulsa periodik seperti *driver motor*. *Stepper motor* digunakan sebagai aktuator atau penggerak. Pemilihan *stepper motor* dilakukan karena motor tersebut dapat dikendalikan dengan cukup mudah dan memiliki ketelitian yang tinggi. Salah satu jenis *stepper motor* adalah *Nema17* dengan torsi 3,2 [Nm]. Cocok digunakan untuk pengerjaan bahan PCB, *acrylic*, kayu, dan aluminium[1].



Gambar 3. Konstruksi Dasar Motor Stepper[14]

b. Driver motor

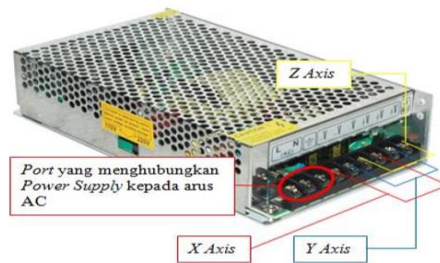
Driver Motor merupakan komponen yang berfungsi untuk mengkomunikasikan *controller* dengan aktuator serta memperkuat sinyal keluaran dari kontroler sehingga dapat dibaca oleh aktuator. Seperti halnya BOB, *driver motor stepper* juga memiliki beberapa *port* yang nantinya terhubung ke masing-masing *port* seperti *input signal*, *motor stepper*, *driver switch setting*, *DC power supply*, *tabel driver setting* [7].



Gambar 4. Driver Motor [15]

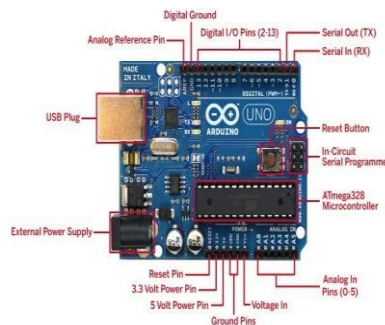
c. Power supply

Power supply adalah perangkat yang berfungsi sebagai penyedia utama daya tegangan DC bagi CNC controller, motor stepper, dan tool/spindle. Fungsi dasar dari power supply adalah merubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Daya yang dihasilkan oleh power supply ini dijaga konstan agar memberikan suplai yang optimal bagi motor dan spindle [7]



Gambar 5. Power Supply [6]

a. Microcontroller



Gambar 6. Arduino [12]

Microcontroller adalah sebuah chip yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan program, dan terdiri dari CPU (Central Processing Unit), memori, I/O tertentu dan unit pendukung seperti Analog-to-Digital Converter (ADC) yang sudah terintegrasi di dalamnya [12]. Mikrokontroler disini berfungsi sebagai komputer yang memproses data yang berupa gambar/code yang kemudian diteruskan ke aktuator menjadi suatu gerakan tertentu [11]. Mikrokontroler yang dipilih yaitu arduino uno yang dalam penggunaannya cukup mudah karena menggunakan bahasa pemrograman yang umum yaitu berbasis C.

Selain dari penggunaan yang cukup mudah juga dari segi harga arduino lebih murah dari mikrokontroler yang lain. Sedangkan untuk firmware yang digunakan adalah GRBL sebagai firmware yang umum digunakan untuk mekanisme mesin CNC dan kompatibel dengan arduino sebagai mikrokontroler. Tidak hanya kompatibel untuk arduino GRBL juga mudah dalam penggunaannya, performa yang tinggi dan telah diuji ke beberapa perangkat CAM dengan tanpa masalah.

2.3. Software System

Kontrol software pada sistem kontrol merupakan perangkat lunak (program komputer) yang digunakan untuk mengontrol mesin CNC 3 aksis. Software tersebut selanjutnya akan di-install pada perangkat komputer dan bertindak sebagai interface. Interface merupakan perangkat lunak yang berfungsi mengkomunikasikan semua perintah dari end

user sehingga mampu dibaca dengan baik oleh semua hardware. Sehingga dengan adanya interface, mesin CNC akan bergerak sesuai dengan program yang telah didesain sebelumnya.

Untuk mengontrol gerakan CNC diperlukan sebuah software yang digunakan untuk mengirimkan NC file ke sebuah mesin CNC yang disebut GRBL controller. Software ini memudahkan pengguna dalam proses pemrograman sebuah mesin CNC. Pengguna bisa memberikan perintah secara langsung atau pengguna juga bisa mengunggguh satu file dalam bentuk notepad yang berisi kode-kode G-Code.

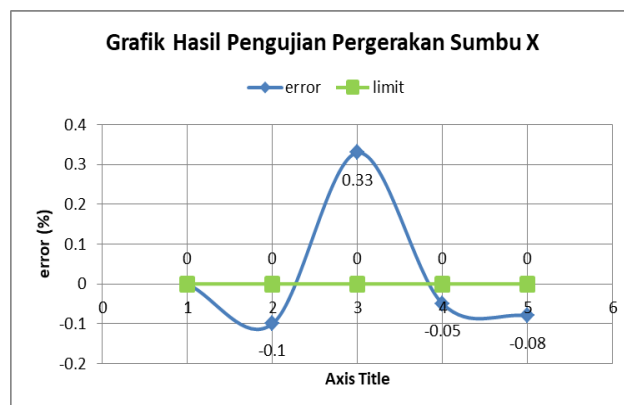
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Pergerakan Sumbu x, y dan z

Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa persentase error rata-rata terbesar terjadi pada sumbu X yaitu 0.112%, sedangkan persentase error rata-rata terkecil terjadi pada sumbu Z yaitu 0,076%. Hasil pengujian menunjukkan penyimpangan terbesar hingga 0.03 [mm] yang sudah melampaui batas toleransi mesin yaitu sebesar 0,01 [mm]. Sehingga diperlukan adanya pengembangan kalibrasi penyimpangan sumbu X, Y dan Z agar kinerja mesin lebih optimal dan benda kerja hasil pengerjaan mesin CNC milling ini sesuai ukuran yang dikehendaki, hasil pengujian bisa dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 7.

Tabel 1. Nilai Pengukuran Penyimpangan Pergerakan sumbu x

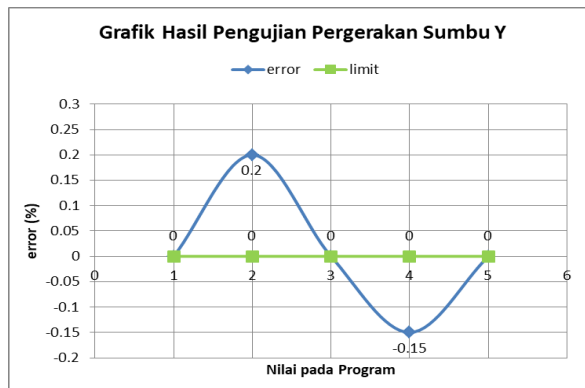
Nilai Program (mm)	Nilai Percobaan Ke-					Nilai Rata-rata (mm)	Nilai error (%)
	I	II	III	IV	V		
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0
2	2,00	2,00	1,99	2,01	2,01	2,002	-0,1
3	3,00	2,97	3,00	3,00	2,98	2,99	0,33
4	3,99	4,01	4,00	4,00	4,01	4,002	-0,05
5	5,01	5,01	5,00	5,00	5,00	5,004	-0,08
Persentase rata-rata							0,112



Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian Pergerakan Sumbu x

Tabel 2. Nilai Pengukuran Penyimpangan Pergerakan sumbu Y

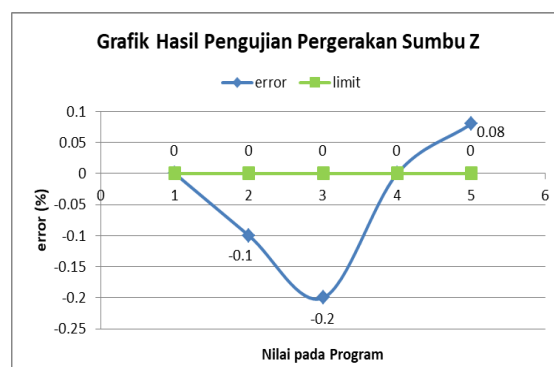
Nilai Program (mm)	Nilai Percobaan Ke-					Nilai Rata-rata (mm)	Nilai error (%)
	I	II	III	IV	V		
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0
2	2,00	2,01	1,99	1,98	2,00	1,996	0,2
3	2,99	3,01	3,00	3,00	3,00	3,00	0
4	4,01	4,01	4,00	4,00	4,01	4,006	-0.15
5	5,00	5,01	5,00	5,01	5,00	5,004	-0,08
Persentase rata-rata							0,086



Gambar 8. Grafik Hasil Pengujian Pergerakan Sumbu y

Tabel 3. Nilai Pengukuran Penyimpangan Pergerakan sumbu z

Nilai Program (mm)	Nilai Percobaan Ke-					Nilai Rata-rata (mm)	Nilai error (%)
	I	II	III	IV	V		
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0
2	2,00	2,00	2,00	2,00	2,01	2,002	-0,1
3	3,00	3,00	3,01	3,00	3,01	3,002	-0,2
4	4,00	3,99	4,00	4,01	4,00	4,00	0
5	5,00	5,01	4,98	4,99	5,00	4,996	0,08
Persentase rata-rata							0,076



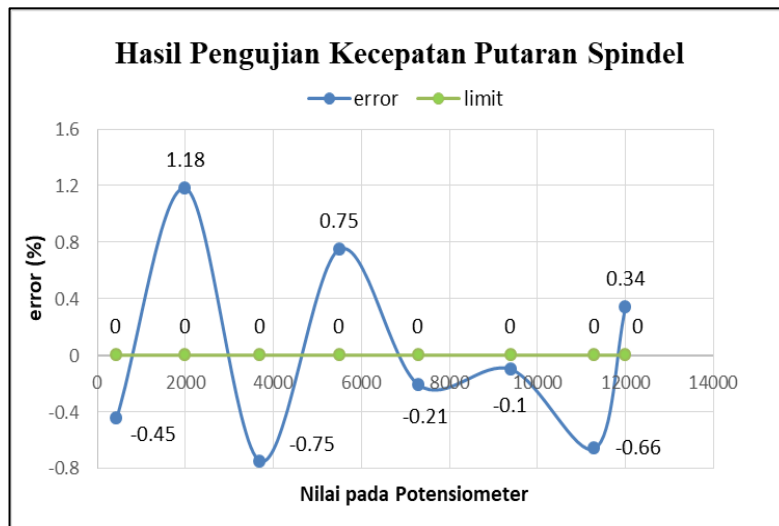
Gambar 9. Grafik Hasil Pengujian Pergerakan Sumbu z

3.2 Pengujian Kecepatan Putar Spindle Mesin

Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa prosentase error rata-rata yang terjadi yaitu 0,0125%. Hasil pengujian menunjukkan penyimpangan yang terjadi berupa kelebihan maupun kekurangan nilai rpm yang tidak lebih dari 150 [rpm]. Berdasarkan proses pengujian ini didapatkan nilai batas kecepatan putar spindle untuk material kayu adalah 430-12.000 [rpm], untuk material aluminium sebesar 2000-12.000 [rpm]. Sedangkan nilai batas feedrate untuk material kayu adalah 7-192 [mm/min], untuk material alumunium sebesar 32-192 [mm/min]. hasil pengujian bisa dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 10.

Tabel 4. Pengujian Kecepatan Putar Spindle

Nilai Potensio meter (rpm)	Nilai Percobaan Ke-					Nilai Rata-rata (rpm)	Nilai error (%)
	I	II	III	IV	V		
430	472,9	422,3	421,7	421,2	421,6	431,94	-0.45
2000	1981,5	1975,8	1974,9	1974,5	1974,5	1976,24	1.18
3700	3722	3732,8	3729,7	3725,1	3729,7	3727,86	-0.75
5500	5451,2	5451,2	5464,4	4561,1	5464,4	5458,46	0.75
7300	7299,2	7311,1	7323	7323	7323	7315,86	-0.21
9400	9404,3	9414,2	9404,3	9414,2	9414,2	9410,24	-0.1
11.300	11.335	11.363	11.378	11.392	11.406	11.374,8	-0.66
12.000	11.953	11.920	11.968	11.968	11.984	11.958,6	0.34
Persentase rata-rata							0.0125











Gambar 10. Grafik Hasil Pengujian Kecepatan Putar Spindle








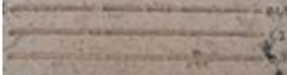
3.3 Pengujian Velocity Cutting pada Material

Berdasarkan hasil di atas dapat didapatkan bahwa nilai velocity cutting terbaik untuk melakukan pemakanan pada material kayu adalah pada 45,9-75,4 [m/min] dengan kedalaman maksimal 1,2-1,5 [mm]. hasil pengujian bisa dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Hasil Pengujian *Velocity Cutting* pada *Playwood*

Speed (rpm)	Velocity Cutting (m/min)	Feedrate (mm/min)	Depth Cut (mm)	Gambar Hasil Pemotongan
430	2,7	7	0,5	
			0,8	
2000	12,6	32	0,5	
			0,8	
			1,2	
3700	23,2	59	0,5	
			0,8	
			1,2	
5500	34,6	88	0,5	
			0,8	
			1,2	
7300	45,9	117	0,5	
			0,8	
			1,2	
			1,5	
9400	59,1	150	0,5	
			0,8	
			1,2	
			1,5	
11.300	70,9	181	0,5	
			0,8	
			1,2	
			1,5	
12.000	75,4	192	0,5	
			0,8	
			1,2	
			1,5	

Tabel 6. Hasil Pengujian *Velocity Cutting* pada *Hardwood*

Speed (rpm)	Velocity Cutting (m/min)	Feedrate (mm/min)	Depth Cut (mm)	Gambar Hasil Pemotongan
430	2,7	7	0,5	
			0,5	
2000	12,6	32	0,8	
			0,8	
			1,2	
3700	23,2	59	0,5	
			0,8	
			1,2	
5500	34,6	88	0,5	
			0,8	
			1,2	
7300	45,9	117	0,5	
			0,8	
			1,2	
			1,5	
9400	59,1	150	0,5	
			0,8	
			1,2	
			1,5	
11.300	70,9	181	0,5	
			0,8	
			1,2	
			1,5	
12.000	75,4	192	0,5	
			0,8	
			1,2	
			1,5	

3.4 Pengujian *Feedrate* Terhadap Waktu

Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa error terkecil yang didapatkan adalah 37,5% dan error terbesar adalah 40%. Selain itu dapat dinyatakan bahwa semakin kecil nilai *feedrate* maka semakin lama waktu pengerjaannya, sebaliknya jika nilai *feedrate* semakin besar maka waktu pengerjaan semakin cepat. hasil pengujian bisa dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian *Feedrate*

<i>Feed rate</i> (mm/min)	<i>Program</i> <i>Time</i> (s)	<i>Actual</i> <i>Time</i> (s)	<i>Feeding</i> <i>Time</i> (s)	<i>Actual Feed</i> (mm/min)	<i>Error</i> (%)
100	1.09	1.09	50	60	40
150	0.47	0.47	33	90.9	39.4
200	0.37	0.37	24	125	37.5
250	0.32	0.32	20	150	40
300	0.28	0.28	16	187.5	37.5
350	0.25	0.25	14	214.3	38.8
400	0.23	0.23	12	250	37.5
450	0.21	0.21	11	272.7	39.4
500	0.2	0.2	10	300	40
700	0.17	0.17	7	428.6	38.7
800	0.16	0.16	6	500	37.5
1000	0.15	0.15	5	600	40
Rata-rata					38.858

3.5 Pengujian *Plungerate* Terhadap Waktu

Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa error terkecil yang didapatkan adalah 35,7% dan error terbesar adalah 40%. Selain itu dapat dinyatakan bahwa semakin kecil nilai *plungerate* maka semakin lama waktu pengerjaannya, sebaliknya jika nilai *plungerate* semakin besar maka waktu pengerjaan semakin cepat. hasil pengujian bisa dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian *Plungerate*

<i>Plunge rate</i> (mm/min)	<i>Program</i> <i>Time</i> (s)	<i>Actual</i> <i>Time</i> (s)	<i>Feeding</i> <i>Time</i> (s)	<i>Actual Feed</i> (mm/min)	<i>Error</i> (%)
50	1.09	1.09	30	30	40
100	0.47	0.47	15	60	40
150	0.37	0.37	10	90	40
200	0.32	0.32	7	128.6	35.7
250	0.28	0.28	6	150	40
300	0.25	0.25	5	180	40
350	0.23	0.23	4	225	35.7
400	0.21	0.21	3.71	245.5	39.3
450	0.2	0.2	3.2	281	37.5
500	0.17	0.17	3	300	40
600	0.16	0.16	2.4	375	37.5
800	0.15	0.15	1.8	500	37.5
Rata-rata					38.6

3.6 Pengujian Hasil Benda Kerja

Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa terjadi beberapa penyimpangan ukuran benda kerja hasil pengerjaan dalam aspek garis lurus dan radius atau kelonjongan sebesar 0,1-0,2 [mm], sedangkan pada aspek sudut tidak terjadi penyimpangan. Menurut hasil tersebut menunjukkan penyimpangan yang terjadi masih dalam batas toleransi.

Tabel 9. Hasil Pengujian Kesejajaran dan Ketegaklurusan

Aspek	Penyimpangan (mm)	Jumlah (mm)	Penyimpangan Ragum (mm)	Total Penyimpangan (mm)
Kesejajaran	CW = 0.03	0.14	0.03	0.11
	CCW = 0.11			
Ketegaklurusan	CW = 0.42	0.45	0.02	0.43
	CCW = 0.03			

Tabel 10. Hasil Pengukuran Produk CNC

Aspek Pengukuran	Simbol	Nilai pada Program (mm)	Nilai Hasil (mm)
Garis Lurus	—	10	9.8
		10	9.8
Sudut	∠	45°	45°
Radius / Kelongongan	—	Ø34	Ø34
		Ø34	Ø33.9
	/	Ø34	Ø33.8
	\	Ø34	Ø34

4. Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan proses pengujian Mesin CNC *Milling* ini dapat disimpulkan bahwa Nilai penyimpangan ukuran benda kerja hasil pengerjaan dalam aspek garis lurus dan radius atau kelongongan sebesar 0,1-0,2 [mm], sedangkan pada aspek sudut tidak terjadi penyimpangan. Sesuai hasil tersebut menunjukkan penyimpangan yang terjadi masih dalam batas toleransi dan Nilai *velocity cutting* terbaik untuk melakukan pemakanan pada material kayu adalah pada 45,9-75,4 [m/min] dengan kedalaman maksimal 1,2-1,5 [mm].

Daftar Pustaka

- [1] Aprilian, Fajar, dkk. Pengembangan Mesin CNC *Router* 4-Axis Guna Mendukung Produksi IndustriKreatif. Semarang: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang. 2019
- [2] ASM Meterial Data *Sheet* Alumunium 6063 T5. <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA6063T5>. Diakses pada 25 September 2020.
- [3] Budynas, Richard G. dan J. Keith Nisbett. *Shigley’s Mechanical Engineering Design*. United States of America: McGraw-Hill Education. 2015
- [4] Cross, Nigel. *Engineering Design Methods Strategies for Product Design Third Edition*. New York: John Wiley & Sons, Ltd. 2004
- [5] Costes, Jean-Philippe dan Pierre Larricq. *Towards high cutting speed in wood milling*. France: INRA, EDP Sciences. 2002
- [6] Hardi, Supri dkk. Rancang Bangun Mesin CNC *Milling* 3-Axis untuk Angrave PCB Berbasis Arduino Uno. Lhoksumawe: Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhoksumawe. 2019
- [7] Harrizal Ikhlah Syukran, ddk. Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin CNC *Milling 3 Axis* Menggunakan *Close Loop System*. Pekanbaru: Jurusan Teknik Mesin Universitas Riau. 2017
- [8] Immanuel, Jovi, dkk. Perancangan dan Analisis Rangka Mesin *Dekstop CNC Milling*. Jakarta: Universitas Tarumanegara. 2018
- [9] Joseph E, Shigley., Larry D, Mitchell., dan Gandhi ,Harahap. Perencanaan Teknik Mesin. Edisi ke empat, Jilid 1. Jakarta: Erlangga, 1984.

- [10] Handson, *Technology User Manual*. www.handsontec.com. Diakses pada 25 Juli 2020.
- [11] Purnomo, Edi, dkk. Rancang Bangun Mesin *CNC Hybrid* dengan Sistem Kerja Printer 3 Dimensi dan *Laser Engrave* untuk Material Berbahan Kayu. Semarang: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang. 2019
- [12] Setiawan, Heri. Pengujian Kekuatan Tarik Produk Cor Propeler Alumunium. Kudus: Universitas Muria Kudus. 2015
- [13] Sularso dan Kiyokatsu Suga. Dasar Perancangan dan Pemilihan Elemen Mesin. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.2004
- [14] Ulinnuha, Fahrul, dkk. Prototipe Mesin CNC *Laser Cutting* untuk Pembuatan Produk Kreatif Bahan Akrilik. Semarang: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang. 2019.
- [15] Zulfikar, Usmardi, Hanafi. Rancang Bangun *Milling* dan *Drilling* Sederhana dan Murah. Lhoksumawe: Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhoksumawe. 2018