

Rancang Bangun Mesin CNC *Lathe* Mini 2 Axis

^{(1)*}Eddy Kurniawan, ⁽²⁾Syaifurrahman, ⁽¹⁾Bong Jekky

⁽¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tanjungpura, Jl. Prof.Dr.H. Hadari Nawawi, Pontianak

⁽²⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tanjungpura, Jl. Prof.Dr.H. Hadari Nawawi, Pontianak

*Email: eddy_kurniawan@teknik.untan.ac.id

Diterima: 12.11.2020 Disetujui: 26.11.2020 Diterbitkan: 30.11.2020

ABSTRACT

The use of a lathe that is controlled by computer numerical controlled (CNC) with high speed and good dimensional accuracy, so it uses less human resources. The use of CNC machines is increasing rapidly, along with factory automation. Therefore, the need for skilled CNC machine design experts is increasing. The development of a CNC lathe that is strong and easy to move from one place to another is a necessity for educational institutions with limited space to practice CNC lathes for their students. In this research, the design and manufacture of a strong and self-produced 2 axis mini-lathe machine prototype were carried out. The method used in designing the structure of the machine, and selecting the electric motor to drive the spindle, and the stepper motor to drive the chisel. The results of this study obtained a 2 axis mini-lathe CNC machine with predetermined electronic components, so that it has a design torque of the spindle motor of 4.7454 Nm and a speed of 1,500 rpm, with a stepper motor power of 36 W, with a cutting speed of 90 m/min. This CNC machine can work on aluminum material in the experimental process of the infeed depth used is 0.5 mm/rotation with a maximum cutting speed (feed-rate) of 0.75 m/minute. It is recommended to use a low feed rate in machining. The axial force on the stepper motor is 1,368 N with a tool pressure when machining of 912 MPa so that it can cut the A6061 type aluminum material with a yield point of 145 MPa. In the future research can be developed using a material that is tougher than aluminum in order to measure the maximum capabilities of the machine.

Keywords: lathe machine, mini-lathe CNC, 2 axis, design, aluminum A6061

ABSTRAK

Penggunaan mesin bubut yang dikendalikan oleh *computer numerical controlled (CNC)* dengan kecepatan tinggi dan akurasi dimensi yang bagus, sehingga menggunakan tenaga kerja yang lebih sedikit. Penggunaan mesin CNC meningkat pesat seiring dengan berjalannya otomatisasi pabrik. Oleh karena itu, kebutuhan tenaga ahli di bidang perancangan mesin CNC yang terlatih semakin meningkat. Pengembangan mesin bubut CNC yang kuat dan mudah dipindahkan dari satu tempat ketempat yang lain merupakan kebutuhan lembaga pendidikan dengan ruang yang terbatas untuk melakukan praktik mesin bubut CNC kepada siswanya. Dalam penelitian ini, dilakukan perancangan dan pembuatan prototipe mesin bubut CNC *lathe* mini 2 axis yang kuat dan dapat diproduksi sendiri. Metode yang dipakai adalah merancang struktur dari mesin, dan melakukan pemilihan motor listrik sebagai penggerak *spindle*, serta motor *stepper* sebagai penggerak pahat. Hasil dari penelitian ini didapat mesin CNC *lathe* mini 2 axis dengan komponen elektronik yang sudah ditentukan, sehingga mempunyai rancangan torsi motor penggerak *spindle* sebesar 4,7454 Nm dan kecepatan 1.500 rpm, dengan daya motor *stepper* 36 W, dengan kecepatan potong 90 m/menit. Mesin CNC ini mampu mengerjakan material aluminium pada proses percobaan kedalaman pemakanan yang dipakai 0,5 mm/putaran dengan kecepatan penyayat (*feedrate*) maksimal 0,75 m/menit. Disarankan menggunakan *feedrate* kecil dalam permesinan. Gaya aksial pada motor *stepper* sebesar 1.368 N dengan tekanan pahat saat permesinan sebesar 912 MPa, maka mampu menyayat material bahan aluminium tipe A6061 yang *yield point* sebesar 145 MPa. Kedepannya dapat dikembangkan penelitian dengan menggunakan material yang lebih keras dari aluminium agar dapat mengukur kemampuan maksimal dari mesin.

Kata Kunci: mesin bubut, CNC *lathe* mini, 2 axis, rancang bangun, aluminium A6061

I. Pendahuluan

Kemajuan dan perkembangan teknologi di era modern ini semakin pesat seiring perkembangan zaman, sehingga berdampak di segala bidang terutama pada bidang industri. Pada zaman sekarang ini, persaingan di bidang industri semakin tinggi, baik itu jasa maupun pada sektor produksi. Hal ini membuat orang-orang maupun perusahaan dan lembaga bersaing menciptakan pekerjaan yang praktis. Pada akhirnya, mesin-mesin konvensional akan berganti dengan mesin otomatis. Teknologi turut andil di dalamnya, sehingga semua dituntut harus dapat mengikutinya. Diperlukannya perubahan strategi produksi pada industri manufaktur untuk mengimbangi persaingan pada pasar internasional. Produk-produk baru harus diproduksi dengan lebih cepat dengan metode yang baru (van Houten, 1992).

Perkembangan mesin-mesin teknologi, dimana mesin-mesin tersebut diciptakan melalui pemanfaatan teknologi komputer untuk memajukan aktivitas manusia, sehingga berdampak pada penggunaan sistem otomatis. Sistem otomatis merupakan teknologi yang berhubungan dengan aplikasi sistem mekanik, elektronik, dan berbasis komputer. Dengan menggunakan sistem ini, tugas manual dapat diselesaikan secara otomatis. Hal ini membuat pekerjaan lebih mudah dan menghemat tenaga kerja. Teknologi kontrol yang digunakan banyak macamnya, sehingga lebih mudah memilih sesuai dengan kebutuhan.

Teknologi otomatis pada mesin bubut dinamakan *computer numerical control* (CNC) yaitu mesin bubut yang dikendalikan menggunakan komputer untuk mempermudah proses kerja mesin. Alat mesin CNC adalah mesin menurut standar ISO, penggunaan bahasa digital (data perintah operasi dengan kode angka, huruf dan simbol) dikendalikan oleh komputer (Jufrizal, Ilyas, & Marzuki, 2020). Secara umum, struktur mesin CNC mempunyai prinsip kerja yang tersinkronisasi antara komputer, elektronik, dan mesinnya. Dibandingkan dengan peralatan mesin bubut tradisional dan sejenisnya, peralatan mesin CNC lebih unggul dalam ketepatan, presisi, fleksibilitas, waktu pengerjaan, dan kapasitas produksi. Oleh karena itu, di era modern sekarang ini banyak perusahaan manufaktur besar yang mulai meninggalkan peralatan mesin tradisional dan berbalik arah menggunakan

mesin CNC, salah satunya mesin bubut CNC. Sebagai contoh dalam pembuatan poros bertingkat dan ulir, menggunakan mesin CNC bubut diperoleh hasil yang lebih cepat, tingkat ketelitian lebih akurat, dan pengerjaan yang berulang akan cenderung tetap atau konsisten.

Harga mesin CNC 3 axis berkisar antara 30-40 juta rupiah setiap unitnya dengan merek yang bervariasi (Pramono, Supriatma, & Sutisna, 2017). Pemanfaatan sumber daya yang tersedia secara efektif melalui *retrofit* dapat membantu produksi untuk mengurangi biaya investasi tambahan dan menjadi keberkelanjutan di antara pesaing yang berkembang di pasar (Nishal, Prasad, Karthik Balaji, & Kalaivanan, 2020).

Retrofit (refurbishment) adalah mengganti semua sistem dan komponen yang ada di dalam mesin. *Refurbishment* dapat dikelompokkan sebagai *refurbishment* atau *repair* untuk meremajakan kondisi lama, *abnormal*, peralatan atau bagian mesin yang tidak memenuhi standar kelayakan untuk pengoperasian di bawah beban arus. Modifikasi juga merupakan metode perantara untuk mengatasi masalah diatas. Modifikasi mesin tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan kinerja peralatan, tetapi juga dapat menghemat uang tanpa harus membeli atau memasang mesin baru (Ardi & Rediyanto, 2015). Penggunaan *micro controller* dapat mengukur akurasi pada prediksi keausan sisi pahat. Klasifikasi pola keausan pahat dilakukan dengan menggunakan jaringan saraf tiruan (JST). Sebuah metode yang layak untuk *retrofit* pembubutan CNC lama (Herwan, et al., 2019).

Tujuan dari penelitian ini yaitu mendapatkan rancangan mesin CNC *lathe* mini 2 axis yang memiliki keandalan pada mesin CNC pada umumnya. Pengujian kemampuan mesin yaitu dengan melakukan percobaan permesinan pada material Aluminium A6061 dengan pahat HSS.

II. Bahan dan Metode

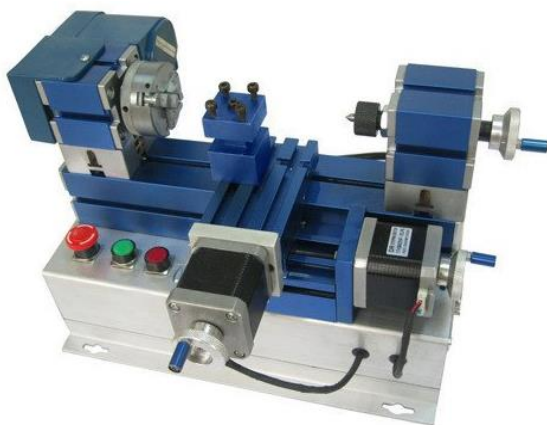
Metode yang dipakai adalah merancang struktur dari mesin dan melakukan pemilihan motor listrik sebagai penggerak *spindle* dan motor *stepper* sebagai penggerak *axis* (sumbu). Penelitian ini adalah penelitian perancangan dengan pengoperasian menggunakan *software Mach3*. Kemudian membuat konsep desain dan

perancangan mesin CNC *lathe* mini yang meliputi pemilihan bahan elektronik dan proses perhitungan secara teoritis. Setelah material dan langkah-langkah pengerjaan dipilih, selanjutnya adalah perhitungan secara teoritis terhadap komponen-komponen elektronik mesin CNC *lathe* mini, sehingga didapatkan kemampuan mesin untuk mengerjakan jenis material yang memungkinkan. Material pendukung sistem mekanik dianggap memiliki kekuatan yang mampu untuk permesinan.

Bahasa numerik adalah bahasa yang dipakai dalam mesin CNC (*computer numerically controlled*). Bahasa Numerik ini berupa huruf dan angka yang dianggap sebagai perintah untuk melakukan proses permesinan seperti perintah-perintah perpindahan koordinat dari motor *stepper* dan lainnya. Pergerakan *tool* pada mesin CNC sudah dikendalikan oleh kode-kode numerik membuat penggunaan tenaga operator mesin berkurang dan juga proses pengerjaan lebih cepat dibanding dengan proses pengerjaan menggunakan mesin konvensional.

2.1 Mesin Bubut CNC (*Lathe CNC*)

Mesin bubut CNC sebagian besar membuat produk dalam bentuk silinder. Cara kerjanya yaitu mengikis permukaan, mengebor dalam, pekerjaan ulir dan alur benda kerja. Pada perkembangannya mesin bubut CNC ada yang 2 axis dan ada yang multi axis. Mesin *lathe CNC* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Mesin *lathe CNC*

2.2 Artsoft Mach3 Demo Version

Mach3 digunakan untuk mengontrol dan menghubungkan komputer dengan mesin CNC. *Mach3* adalah *software* yang berfungsi mengubah perintah komputer menjadi sebuah peranti *controller* untuk mesin CNC. *Mach3*

menggerakkan sumbu-sumbu gerak (motor *stepper*) yang telah diprogram dalam bahasa *G-Code*. Parameter-parameter gerakan (kecepatan, akselerasi dan *backlash*) dapat dikalibrasi dengan menggunakan modul *user interface* (Herliansyah, 2005). Pengaturan sistem komunikasi data dapat dilakukan di sini. *Controller* menerima data yang telah dikirim dari sistem, selanjutnya pulsa akan dihasilkan dari data-data yang dikirim untuk menggerakkan motor *stepper*. Tampilan *software Mach3* mengacu pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan awal *software Mach3*

2.3 Pemilihan Bahan

Pemilihan bahan, khususnya komponen yang akan digunakan dalam penelitian ini dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen yang digunakan

No	Nama Komponen	Jenis/Tipe	Kuantitas
1	CNC USB Mach3	4A 100 kHz	1 piece
2	Motor <i>stepper</i> driver	TB6560 3A	2 piece
3	<i>Stepper</i> motor	NEMA 23 3A	2 piece
4	Induksi motor AC	1HP 4P 750 W 1400rpm	1 piece

CNC USB Mach3 *four axis support* berwarna merah digunakan untuk menghubungkan komputer dan mesin. Dimensi mesin adalah 8 cm x 7,7 cm atau 3,15” x 3,03” yang dapat digunakan untuk 4 sumbu, maksimum 100 kHz (frekuensi pulsa *step* yang di-input ke motor *stepper*). CNC USB mach3 yang dimaksud yaitu mengacu pada Gambar 3.

Motor driver TB6560 adalah alat yang digunakan untuk mengomunikasikan antara aktuator dan *controller* serta meningkatkan sinyal *output* yang dibaca *actuator*. Motor *driver* yang digunakan adalah jenis *Board* TB6560 untuk mesin CNC *lathe* mini, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3. CNC USB Mach3 100 kHz



Gambar 4. Motor driver TB6560

Motor *stepper* adalah sebagai penggerak *actuator* sumbu X dan sumbu Z menggunakan motor *stepper* NEMA 23 Minebea. Gambar motor *stepper* mengacu pada Gambar 5.



Gambar 5. Motor stepper NEMA 23

Motor induksi AC yang digunakan memiliki spesifikasi yaitu 1 HP, 0,75 kW, 4 *Pole*, 1 *Phase*. Motor induksi ini berfungsi sebagai penggerak *spindle*. Motor induksi AC yang dimaksud dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Motor induksi AC

2.4 Persamaan yang Digunakan

1. Perencanaan Torsi dan Daya Motor Penggerak *Spindle*

Spindle berfungsi untuk memutar benda kerja. Torsi dan rpm sangat dipengaruhi oleh gaya pemakanan (Setiawan, Rasma, & Djunaedi, 2020). Untuk menghitung Torsi digunakan Rumus 1, sedangkan untuk menghitung daya motor *spindle* dapat menggunakan Rumus 2.

$$T = F_s \cdot r \quad (1)$$

$$P = T \frac{2\pi \cdot n}{60} \quad (2)$$

Dimana:

T = Torsi motor (Nm)

F_s = Gaya pemakanan (N)

r = Jari-jari *shaft spindle* (m)

P = Daya motor (W)

n = Kecepatan putar (rpm)

2. Perencanaan Torsi dan Daya Motor *Stepper*

Daya yang dipilih pada motor *stepper* untuk sumbu X dan Z adalah sama dengan asumsi beban yang sama pula pada kedua sumbu jadi torsi yang dibutuhkan sama. Maka daya motor *stepper* dapat dihitung dengan Rumus 3 dan Rumus 4 (Riawan, Karuniawan, & Hamzah, 2018).

$$T = F \cdot r \quad (3)$$

$$P = T \cdot \omega \quad (4)$$

Dimana:

T = Torsi motor (Nm)

F = Gaya beban direncanakan (N)

r = Jari-jari ulir penggerak (m)

ω = Kecepatan putaran (rpm)

3. Kecepatan Potong

Acuan untuk menentukan kecepatan potong dapat dilihat pada Tabel 2. Kecepatan potong bisa juga dihitung dengan Rumus 5.

$$C_s = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (5)$$

Dimana:

C_s = Kecepatan potong (m/menit)

n = Kecepatan putaran motor (rpm)

Tabel 2. Kecepatan potong bahan

Bahan	Pahat HSS		Pahat Karbida	
	m/min	ft/min	m/min	ft/min
Baja lunak (mild steel)	18-21	60-70	30-250	100-800
Besi (cast iron)	14-17	45-55	45-150	150-500
Perunggu	21-24	70-80	90-200	300-700
Tembaga	45-90	150-300	150-450	500-1500
Kuningan	30-120	100-400	120-300	400-1000
Aluminium	90-150	300-500	90-180	300-600

4. Kecepatan Penyayatan (Feeding)

Besar kecepatan pemakanan dalam proses pembubutan ditentukan oleh berapa besar gerak pahat menyayat benda kerja dalam satuan m/putaran dikali seberapa besar rpm *spindle*. Persamaan dapat dilihat pada Rumus 6.

$$F = f \cdot n \quad (6)$$

Dimana:

F = Kecepatan penyayatan (m/menit)

f = Kedalaman pemakanan (mm/putaran)

5. Gaya Normal

Gaya normal (aksial) adalah gaya yang bekerja tegak lurus terhadap penampang potong. Gaya aksial mempengaruhi kemampuan mesin bubut untuk menyayat benda kerja. Diasumsikan diameter mayor *ball screw* yang akan digunakan yaitu 16 mm dan diameter minor *ball screw* 12,7 mm dengan *pitch* 5 mm (Pramono, Supriatma, & Sutisna, 2017), maka persamaan gaya aksial seperti terlihat pada Rumus 7.

$$F_a = \frac{P \cdot 60}{n} \cdot v \quad (7)$$

Dimana:

F_a = Gaya aksial (N)

n = Kecepatan putar *stepper* (rpm)

v = Efisiensi *ball screw* (95%)

p = *Pitch ball screw* (m)

6. Tekanan Pahat

Diasumsikan luas bagian pahat yang mengenai benda kerja pada saat permesinan adalah 3 mm². Tekanan pahat saat melakukan permesinan dapat dihitung dengan Rumus 8.

$$\sigma = \frac{F_a}{A} \quad (8)$$

Dimana:

σ = Tekanan pada pahat (N/mm²)

A = Luas penampang pahat (mm²)

III. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Perhitungan

1. Torsi dan Daya Motor *Spindle*

Apabila diasumsikan gaya pemakanan:

$$F_s = 100 \text{ N}$$

Diketahui:

$$r = 0,01 \text{ m}$$

$$n = 1.500 \text{ rpm}$$

Torsi motor *spindle* adalah:

$$\begin{aligned} T &= F_s \cdot r \\ &= 100 \times 0,01 \\ &= 1 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Daya motor *spindle* adalah:

$$\begin{aligned} P &= T \frac{2\pi \cdot n}{60} \\ &= 1 \text{ Nm} \frac{2 \times 3,14 \times 1.500 \text{ rpm}}{60} \\ &= 157 \text{ W} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan perencanaan torsi motor *spindle* yaitu 1 Nm dan daya motor *spindle* yaitu 157 W. Dalam pemilihan motor yang digunakan adalah induksi AC dengan daya 750 W dan torsi sebesar 4,7454 Nm.

2. Daya Motor *Stepper*

Diasumsikan gaya beban yang harus di gerakkan motor *stepper*:

$$F = 90 \text{ N}$$

Diketahui:

$$r = 0,008 \text{ m}$$

$$f = 100 \text{ kHz (step pulsa controller)}$$

$$N_p = 200 \text{ pulsa/rotasi}$$

Daya motor adalah:

$$\begin{aligned} T &= F \cdot r \\ &= 90 \text{ N} \times 0,008 \text{ m} \\ &= 0,72 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Kecepatan putaran adalah:

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{60}{N_p} f \\ &= \frac{60}{200 \text{ pulsa/rotasi}} 100 \text{ kHz} \\ &= 30 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Daya motor *stepper* adalah:

$$\begin{aligned} P &= T \cdot \omega \\ &= 0,72 \times 30 \text{ rpm} \\ &= 21,6 \text{ W} \end{aligned}$$

Motor *stepper* yang digunakan dalam perancangan ini adalah motor *stepper* dengan torsi 1,2 Nm dengan sudut langkah 1,8°. *Controller* dengan daya 36 W, sehingga perencanaan aman.

3. Kecepatan Potong

Dimana diasumsikan benda kerja:

$$d = \frac{3}{4} \text{ inchi} = 19 \text{ mm}$$

$$n = \textit{spindle} \text{ diketahui sebesar } 1500 \text{ rpm}$$

Nilai kecepatan potong adalah:

$$Cs = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

$$= \frac{3,14 \times 19 \text{ mm} \times 1500 \text{ rpm}}{1000}$$

$$= 89,49 \approx 90 \text{ m/menit}$$

Sehingga dilihat dari Tabel 2, dapat ditentukan penyesuaian material yang dikerjakan mesin adalah aluminium dengan pahat HSS.

4. Kecepatan Penyayatan

Diasumsikan kedalaman pemakanan awal dan *finishing* sebesar 0,5 mm/putaran, maka kecepatan penyayatan adalah:

$$F = f \cdot n$$

$$= 0,5 \text{ mm/putaran} \times 1500 \text{ rpm}$$

$$= 750 \text{ mm/menit}$$

$$= 0,75 \text{ m/menit}$$

5. Gaya Aksial

$$F_a = \frac{P \cdot 60}{n}$$

$$= \frac{36 \text{ W} \times 60}{30 \text{ rpm}} \cdot 0,95\%$$

$$= 0,05 \text{ m}$$

$$= 1.368 \text{ N}$$

6. Tekanan Pahat

Dimana A didapat dari:

$$A = \text{luas penampang pahat yang mengenai}$$

$$\text{benda kerja} \times \text{kedalaman pemakanan}$$

$$= 3 \text{ mm}^2 \times 0,5 \text{ mm/putaran}$$

$$= 1,5 \text{ mm}^2$$

Maka tekanan pahat adalah:

$$\sigma = \frac{F_a}{A}$$

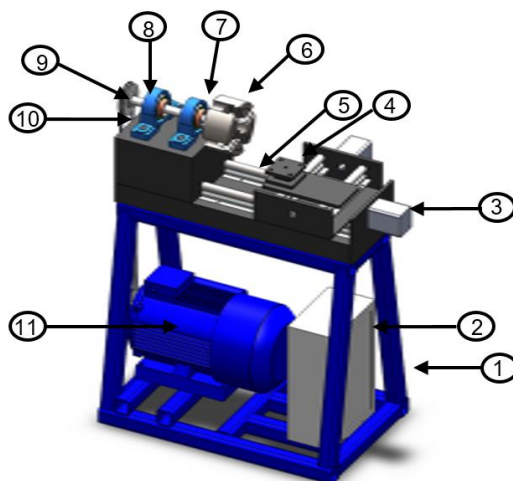
$$= \frac{1368 \text{ N}}{1,5 \text{ mm}^2}$$

$$= 912 \text{ N}$$

$$= 912 \text{ MPa}$$

3.2. Desain Rancang Bangun Mesin CNC

Pada Gambar 7 menunjukkan desain rancangan mesin CNC *lathe* mini 2 aksis beserta keterangan bagian-bagian mesinnya. Jika dilihat dari *yield strength* bahan aluminium tipe A6061 adalah 21.000 lb/in² atau 145 MPa, sedangkan untuk motor *stepper* kekuatan dorongnya 912 MPa. Disamping itu, untuk material kuningan C87900 dengan *yield strength* sebesar 81.000 lb/in² atau 558 MPa. Sehingga dapat disimpulkan bahwa motor *stepper* dapat untuk memotong benda kerja dari aluminium dan kuningan (Avallone, Baumeister, & Sadegh, 2006). Percobaan pembubutan aluminium dapat dilihat pada Gambar 8. Berdasarkan berbagai perhitungan pada pembahasan sebelumnya, mesin CNC *lathe* mini 2 axis mampu memproses pembubutan pada material aluminium dengan baik. Untuk material yang lebih keras dari aluminium, belum dilakukan percobaan untuk mengetahui seberapa kuat mesin ini melakukan proses permesinan material.



Bagian-bagian mesin
CNC *lathe* mini 2 axis:

1. Rangka utama
2. Panel box
3. Motor *stepper*
4. Toolpost
5. Linear guideway
6. Chuck
7. Bearing support
8. Spindle
9. Pulley
10. V-belt
11. Motor listrik induksi AC

Gambar 7. Rancangan mesin CNC *lathe* mini



Gambar 8. Percobaan pembubutan alumunium

IV. Kesimpulan

Sebagai hasil dari penelitian ini, diperoleh mesin bubut CNC *lathe* mini 2 axis dengan rancangan komponen elektronik yaitu torsi motor *spindle* sebesar 4,7454 Nm dan kecepatan 1.500 rpm. Motor *stepper* dengan daya 36 W dan tekanan pahat maksimum sebesar 912 MPa. Secara teoritis, percobaan mesin dapat mengerjakan material aluminium dengan *yield strength* 145 MPa dan kecepatan potong maksimum (*feedrate*) 0,75 m/menit. Pada percobaan mesin hanya menggunakan kedalaman pemakanan (*f*) sebesar 0,5 mm/putaran, agar mesin tidak menghasilkan getaran yang tinggi. Pahat yang digunakan adalah jenis HSS. Kecepatan potong (*Cs*) yang dipakai 90 m/menit untuk aluminium. Untuk material yang lebih keras dari aluminium belum dilakukan percobaan.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi kepada pembaca bahwa mesin CNC pada dasarnya bisa dibuat sendiri dengan banyaknya komponen-komponen pendukung yang dijual dipasaran, sehingga memudahkan pembuatan mesin CNC mini sesuai dengan ide rancangan masing-masing. Penelitian kedepan yang bisa dilakukan untuk melanjutkan penelitian ini adalah dengan mencoba melakukan proses pemesinan material yang satu tingkat lebih keras dari aluminium dan seterusnya agar dapat mengetahui batas kemampuan maksimum dari mesin untuk memproses material.

Daftar Pustaka

- Ardi, S., & Rediyanto, R. (2015). Retrofit Sistem Kontrol Mesin Press Dust Cover di Line Produksi Manufaktur Berbasis Programmable Logic Controller. *Jurnal Teknologi Elektro*, 6(3), 207-220. doi:10.22441/jte.v6i3.808
- Avallone, E. A., Baumeister, T., & Sadegh, A. (2006). *Marks' Standard Handbook For Mechanical Engineers* (11th ed.). New Yorks, USA: McGraw-Hill Professional.
- Herliansyah, M. K. (2005). Pengembangan CNC Retrofit Milling untuk Meningkatkan Kemampuan Mesin Milling Manual dalam Pemesinan Bentuk-bentuk Kompleks. *Forum Teknik*, 29(1), 62-70.
- Herwan, J., Kano, S., Ryabov, O., Sawada, H., Kasashima, N., & Misaka, T. (2019). Retrofitting Old CNC Turning with an Accelerometer at a Remote Location towards Industry 4.0. *Manufacturing Letters*, 21, 56-59. doi:10.1016/j.mfglet.2019.08.001
- Jufrizaldy, M., Ilyas, I., & Marzuki, M. (2020). Rancang Bangun Mesin CNC Milling Menggunakan Menggunakan System Kontrol GRBL untuk Pembuatan Layout PCB. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 4(1), 37-44.
- Nishal, M., Prasad, K. R., Karthik Balaji, T. V., & Kalaivanan, K. (2020). Retrofit of two way holding chuck to improve process efficiency and resource management. *Materials Today: Proceedings*, 10-14. doi:10.1016/j.matpr.2020.08.024

- Pramono, G. E., Supriatma, E., & Sutisna, S. P. (2017). Retrofit Motor Stepper Mesin CNC 3 Axis UIKA Prototype 3. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 3(2), 60-66. doi:10.32832/ame.v3i2.770
- Riawan, M. A., Karuniawan, B. W., & Hamzah, F. (2018). Rancang Bangun CNC Router Kayu dengan Menggunakan Control Mach 3. *Proceedings Conference on Design Manufacture Engineering and Its Application*, 1(1), 197-204.
- Setiawan, B., Rasma, R., & Djunaedi, T. (2020). Rancang Bangun Mesin CNC Router Portable dengan Dimensi 1219x609 mm untuk Skala Laboratorium. *INFOMATEK: Jurnal Informatika, Manajemen dan Teknologi*, 22(1), 15-22. doi:10.23969/infomatek.v22i1.2747
- van Houten, F. A. (1992). Manufacturing Interfaces. *CIRP Annals*, 41(2), 699-710. doi:10.1016/S0007-8506(07)63256-9