

Rancang Bangun Mesin CNC Router 3 Axis Dengan Penggerak Ballscrew Untuk Kerajinan *Acrylic*

I Dewa Made Pancarana^{1*}, I Made Agus Putrawan² & I Made Rai Gunawan³

^{1,2,3}Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta Selatan, Badung, Bali 80364, Indonesia

*Email: dmpancarana@yahoo.com

ABSTRACT

This research aims to design, manufacture and test a 3-axis CNC router machine with a ballscrew drive that can process acrylic into an artistic craft that has accurate, precise, neat and effective dimensions. In this research, a design was carried out to design a 3 axis CNC router machine with a ballscrew drive that suits the needs of medium and large scale industries. The working principle of a 3 axis CNC router machine with a ballscrew drive is to create a design using CAD or CAM software, then the design is converted to G-code (machine code), so that the machine can work according to G-Code coordinates. The results of this research include design and construction which includes design designs, design calculations, manufacturing processes, and results of the accuracy of using acrylic materials. The results of the design and construction of a 3 axis CNC router machine with a ballscrew drive, namely a cutting work area of 800 mm x 600 mm x 100 mm, using a Breakout board controller as a controller, using a PC or laptop to find out the MDI movement of G-code coordinates. The cutting results of spindle rpm 6000, 8000, and 10,000 with varying feed rates will affect the roughness of the workpiece cutting results. The conclusion from varying the feed rate is: the greater the feed rate in units (mm/minute), the rougher the cutting results. , and vice versa, if the feed rate is smaller, the results of cutting the workpiece will be smoother.

Keywords: CNC Machine, Feed Rate, G-Code

PENDAHULUAN

Kerajinan *Acrylic* merupakan kerajinan usaha kecil menengah (UKM), yang mana proses produksinya tidak mampu dilakukan untuk membuat produk-produk dengan geometri khusus dengan ketelitian yang tinggi, sehingga kalah bersaing dengan produk-produk impor yang berasal dari berbagai negara. Perkembangan komputer saat ini telah mengalami kemajuan yang amat pesat, dalam hal ini komputer telah diaplikasikan ke dalam alat-alat mesin perkakas diantaranya mesin bubut, mesin frais, mesin skrap, mesin bor, dan mesin *router* [3]. Hasil perpaduan teknologi komputer dan teknologi mekanik inilah yang selanjutnya dinamakan mesin CNC (*Computer numerical Control*). Sistem pengoperasian CNC menggunakan program yang dikontrol langsung oleh komputer [3]. Peneliti terdahulu telah melakukan penelitian tentang rancang bangun *prototype* konstruksi mekanik mesin CNC *router* 3 axis untuk skala industri kecil harga yang murah. Pada penelitian tersebut telah didesain bentuk dan perhitungan pembebanannya sehingga memungkinkan untuk diproduksi. Beberapa penelitian yang telah dilakukan tentang CNC router, antara lain Perancangan dan pembuatan mesin CNC *Mini Router* 3 Axis Berbasis Mikrokontroler Arduino guna membantu para pengrajin dalam proses produksi telah dilakukan, dimana dengan menggunakan mesin perkakas ini akan mempercepat waktu pembuatan, mengurangi biaya, meningkatkan kualitas hasil produksi, dan harga mesin dijangkau oleh pelaku industri kreatif. [9-12].

Mesin CNC Router Mini telah dibuat Untuk Pembelajaran Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin dengan tujuan untuk mempercepat waktu penyelesaian dan meningkatkan akurasi pembuatan produk terukir maupun pemotongan pada benda kerja seperti logam lunak, dan kayu [1]. Metode penelitian ini yaitu perancangan, manufaktur dan pengujian berdasarkan mesin hasil rancangan. Komponen-komponen mesin CNC router mini dirancang menggunakan *software autodesk*, dimensinya 60 x 60 cm, dikalibrasi oleh dengan *software mach3mill* dan pengujian kinerja mesin dalam mode pergerakan tiga sumbu; mode manual, MDI, dan mode otomatis tiga sumbu X, Y, dan Z menggunakan program NC (*Numerical Control*). Mesin CNC Router Portable Dengan Dimensi 1219 × 609 mm telah dirancang dan dibuat untuk skala laboratorium [2]. Mesin CNC pada

umumnya CNC Router yang ada dipasaran masih menggunakan poros ulir sebagai transmisi gerakannya dan dengan daya motor yang besar [2]. Maka dari itu transmisi gaya penulis menggunakan *ballscrew*. *Ballscrew* dipilih karena pada *ballscrew* tidak terjadi keterlambatan gerak balik atau biasa disebut backlash. Karena apabila terjadinya backlash dapat menyebabkan ketepatan nilai akurasi dan kalibrasi berkurang.

Mesin CNC Router dengan menggunakan kontroller papan breakout (*breakout board*) dan *Software Mach3*, telah dirancang, dibuat, dan dilakukan pengujian pada dua bahan yang berbeda, yaitu ; bahan dasar ACP (Alumunium Composite Panel) dengan dimensi pengerjaan 310 mm x 35 mm dan kedalaman pemotongan 5 mm memerlukan waktu 8,51 menit dan bahan kayu dengan dimensi pengerjaan 89,4 mm x 64,1 mm memerlukan waktu pengerjaan 3,35 menit [7]. Rancangan Mesin CNC Router Kayu Mini menggunakan BOB (*Breakout Board*) dengan program software Autodesk Inventor CAM telah dibuat dan dilakukan pengujian terhadap bahan kayu [8]. Mesin yang dibuat mampu beroperasi pada area kerja 800 mm x 800 mm dengan ketinggian benda kerja sekitar 200 mm.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Komponen

Bahan yang digunakan antara lain ; plat 10 mm, linear guide, *ballscrew*, plat besi, bearing, baut, mur, ring, dan sekrup, kabel, timah, spacer, besi *hollow*, *acrylic* (benda kerja), nilon, cat.

Komponen yang digunakan antara lain ; motor spindle, motor *stepper*, *flexible coupling*, BOB USB Mach 3, *driver*, laptop/komputer, konektor, kipas, relay, saklar, PSU, *proximity sensor*, *bracket Nema 23*.

Peralatan

Dalam penelitian ini dibutuhkan instrumen atau alat-alat yang digunakan untuk menunjang proses pengumpulan data dari persiapan awal sampai proses pengujian. Adapun instrumen yang digunakan, antara lain; kunci L, siku-siku, obeng, mesin bor, gerinda tangan, tap, solder. jangka sorong, roll meter, penggaris, *water pass*.

Penentuan Sumber Data Penelitian

Penentuan data penelitian, penulis melakukan pengamatan dan survei di lapangan dan mempelajari teori-teori yang berhubungan dengan Rancang Bangun Motor Spindle Berbasis CNC terhadap Kerajinan *Acrylic*. Pustaka yang digunakan berupa jurnal ilmiah, buku, buku elektronik, informasi dari internet maupun responden, dan pengujian mesin CNC secara langsung. Data pengujian Mesin CNC terhadap bahan *acrylic* dilampirkan pada Tabel 1 sampai 3.

Tabel 1. Desain lingkaran variasi feed rate Rpm spindle 6000 Rpm

No	Rpm	Feed Rate	Dimensi desain (mm)
1	6000	150	30
2	6000	300	30
3	6000	450	30

Tabel 2. Desain kotak variasi feed rate Rpm Spindle 8000 Rpm

No	Rpm	Feed Rate	Dimensi desain (mm)
1	8000	150	30 x 50
2	8000	300	30 x 50
3	8000	450	30 x 50

Tabel 3. Desain bintang variasi feed rate Rpm Spindle 10.000 Rpm

No	Rpm	Feed Rate	Dimensi desain (mm)
1	10.000	150	40 x 40
2	10.000	300	40 x 40
3	10.000	450	40 x 40

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan dan Perencanaan Motor Spindle

Dalam pemilihan motor spindle ada beberapa pertimbangan umum seperti ketersediaan alat, daya yang sesuai dengan daya rumah tangga dan harga terjangkau, untuk menentukan daya motor spindle terlebih dahulu harus diketahui daya yang diperlukan untuk memotong/pemakanan acrylic dengan Menghitung *feed per tooth* menggunakan persamaan 1 [8].

$$f_x = \frac{v_f}{z \cdot n} \quad (1)$$

$$f_x = \frac{7500 \text{ mm / menit}}{2 \cdot 15000} = 0,25 \text{ mm}$$

Karena menghitung *feed rate tooth* menggunakan *feed rate* (v_f) maksimal mesin kecepatan potong yang sesuai dengan persamaan 2 [11].

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (2)$$

$$v_c = \frac{3,14 \cdot 3,125 \text{ mm} \cdot 15000 \text{ rpm}}{1000} = 147,18 \text{ mm / menit}$$

Menghitung *chip thickness* berdasarkan *feed per tooth*, persamaan 3 [8].

$$h_m = f_z \sqrt{\frac{ae}{dc}} \quad (3)$$

$$h_m = 0,25 \text{ mm} \sqrt{\frac{3,125 \text{ mm}}{3,125 \text{ mm}}} = 0,25 \text{ mm}$$

Menghitung luas penampang potong pisau berdasarkan *chip thickness*, dengan persamaan 4 [8].

$$A = h_m \cdot s \cdot w \quad (4)$$

$$A = 0,25 \text{ mm} \cdot 2 \cdot 3,125 \text{ mm}$$

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

Menghitung gaya potong pisau berdasarkan luas penampang pisau, persamaan 5 [8].

$$F = \sigma \cdot A \quad (5)$$

$$F = 30 \text{ N / mm}^2 \cdot 1,5 \text{ mm}^2$$

$$F = 45 \text{ N}$$

Menghitung torsi motor spindle berdasarkan gaya potong pisau, persamaan 6 [8].

$$T = F \cdot r \quad (6)$$

$$T = 45 \text{ N} \cdot 0,004 \text{ m}$$

$$T = 0,18 \text{ N.m}$$

Menghitung daya motor spindle berdasarkan gaya potong pisau, persamaan 7 [11].

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot T \cdot n}{60} \quad (7)$$

$$P = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,18 \text{ N.m} \cdot 15000 \text{ Rpm}}{60} = 282,6 \text{ watt}$$

Menghitung daya rencana, persamaan 8 [11].

$$P_d = 282,5 \cdot 1,3 \quad (8)$$

$$P_d = 367,38 \text{ watt}$$

Berdasarkan hasil perhitungan didapat daya motor spindle yaitu 367,38 watt dengan putaran 15.000 rpm maka dipilih motor spindle dengan spesifikasi:

Daya spindle = 400 watt.,

Tegangan = 48 volt.,

Putaran spindle = 15.000 rpm.

Tipe spindle = Spindle mini motor DC

Diameter poros = 8 mm

Motor spindle yang dipilih sudah sesuai perhitungan sehingga mampu untuk melakukan pemotongan atau pemakanan bahan akrilik (*acrylic*).

Perhitungan dan Perencanaan Ulir Daya

Menghitung beban aksial ballscrew dimana percepatan gerak sumbu X dan Y menggunakan persamaan 9 [6].

$$a = \frac{v_{\max}}{t_1} \quad (9)$$

$$a = \frac{2 \text{ m/s}}{0,14} = 14,29 \text{ m/s}$$

Menghitung percepatan gerak sumbu Z, persamaan 10 [6].

$$a = \frac{v_{\max}}{t_1} \quad (10)$$

$$a = \frac{1,2 \text{ m/s}}{0,16} = 7,5 \text{ m/s}$$

Menghitung beban aksial posisi horizontal sumbu Y mesin berdasarkan percepatan menggunakan persamaan 11 [6].

$$F_a = \mu \cdot m \cdot g + f + m + \alpha \quad (11)$$

$$F_a = 0,003 \cdot 18 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 + 15 \text{ N} + 18 \text{ kg} + 14,29 \text{ m/s}^2$$

$$F_a = 0,054 \text{ N} + 15 \text{ N} + 257,22 \text{ N} = 272,27 \text{ N}$$

Beban aksial total sumbu Y:

$$F_{a_{total}} = F_a + F_{pisau}$$

$$F_{a_{total}} = 272,27 \text{ N} + 25,6 \text{ N} = 297,87 \text{ N}$$

Menghitung beban aksial posisi vertikal sumbu Z mesin berdasarkan percepatan menggunakan persamaan 12 [6].

$$F_a = m \cdot g + f + m \cdot \alpha \quad (12)$$

$$F_a = 6 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 + 15 \text{ N} + 6 \text{ kg} \cdot 7,5 \text{ m/s}^2$$

$$F_a = 58,8 \text{ N} + 15 \text{ N} + 45 \text{ N} = 118,8 \text{ N}$$

Beban aksial total sumbu Z:

$$F_{a_{total}} = F_a + F_{pisau}$$

$$F_{a_{total}} = 118,8 \text{ N} + 25,6 \text{ N} = 144,4 \text{ N}$$

Setelah mendapat hasil perhitungan beban aksial, selanjutnya menghitung gaya yang diterima *ballscrew* SFU1605 untuk digunakan sebagai ulir daya sumbu X dan sumbu Y. Menghitung beban aksial yang diizinkan pada *ballscrew* SFU1605 menggunakan persamaan 13 [6].

$$P_1 = \eta^2 \cdot \frac{d_1^4}{l_a^2} \cdot X \cdot 10^4 \quad (13)$$

$$P_1 = 10 \cdot \frac{12,8^4}{935^2} \cdot X \cdot 10^4 = 10 \cdot \frac{26\,863}{874\,225} \cdot X \cdot 10^4 = 3072 \text{ N}$$

Beban tarik yang diizinkan pada *ballscrew* SFU1605 menggunakan persamaan 14 [5].

$$P_2 = 116 \cdot d_1^2 \quad (14)$$

$$P_2 = 116 \cdot 12,8^2 = 19\,005 \text{ N}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, *ballscrew* SFU1605 mampu digunakan sebagai ulir daya sumbu X, Y, dan Z mesin karena memiliki kemampuan menahan beban aksial yang diperlukan beban mesin. Menghitung torsi penggerak *ballscrew* yang diperlukan untuk gaya pemakanan dan gesekan sumbu X mesin menggunakan persamaan 15 [6].

$$T = \frac{F_{a_{total}} \cdot P_h}{2\pi \cdot \eta_1} \quad (15)$$

$$T = \frac{297,87 \text{ N} \cdot 5 \text{ mm}}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,8} = \frac{1489,35 \text{ Nmm}}{5,02} = 296,68 \text{ Nmm}$$

Menghitung torsi yang diperlukan untuk akselerasi pada sumbu X mesin. Menghitung momen inersia *ballscrew* SFU1605 menggunakan persamaan 16 [6].

$$J_s = \frac{m \cdot D^2}{8 \cdot 10^6} \quad (16)$$

$$J_s = \frac{1,2 \text{ kg} \cdot 16^2}{8 \cdot 10^6} = \frac{307,2 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2}{8 \cdot 10^6} = 38,4 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Menghitung momen inersia pada sumbu X mesin berdasarkan momen inersia *ballscrew* SFU1605 menggunakan persamaan 17 [6].

$$J = m \cdot \left(\frac{p_h}{2 \cdot \pi}\right)^2 \cdot 10^{-6} + J_s \quad (17)$$

$$J = 18 \text{ kg} \cdot \left(\frac{5}{6,28}\right)^2 \cdot 10^{-6} + 38,4 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 = 52,73 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Menghitung rpm motor *stepper* sumbu X menggunakan persamaan 18 [8].

$$\eta_m = \frac{v}{Ph} \quad (18)$$

$$\eta_m = \frac{2000 \text{ mm/menit}}{5 \text{ mm}} = 400 \text{ rpm}$$

Menghitung percepatan angular pada sumbu X berdasarkan rpm motor *stepper* menggunakan persamaan 19 [6].

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot \eta_m}{60} \quad (19)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 400 \text{ rpm}}{60 \cdot 0,14 \text{ s}} = \frac{2512}{8,4} = 299,05 \text{ rad/s}^2$$

Menghitung torsi akselerasi sumbu X mesin berdasarkan momento inersia sumbu X dan percepatan angular menggunakan persamaan 20 [6].

$$T_2 = (J + J_m) \alpha \quad (20)$$

$$T_2 = (52,73 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^2 + 48 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^2) \times 299,05 \text{ rad/s}^2 = 30,12 \text{ N.mm}$$

Setelah mendapat torsi pemakaian, gesekan dan akselerasi selanjutnya dihitung torsi total yang dibutuhkan untuk menggerakkan sumbu X mesin:

$$T_{\text{total}} = T + T_2$$

$$T_{\text{total}} = 296,68 \text{ Nmm} + 30,12 \text{ Nmm} = 326,8 \text{ Nmm} = 0,33 \text{ Nm}$$

Menghitung torsi yang diperlukan untuk gaya pemakanan dan gesekan sumbu Z mesin menggunakan persamaan 21 [6].

$$T = \frac{F_{\text{total}} \cdot Ph}{2\pi \cdot \eta_1} \quad (21)$$

$$T = \frac{144,4 \text{ N} \cdot 5 \text{ mm}}{6,28 \cdot 0,8} = 143,82 \text{ N.mm}$$

Menghitung gaya yang diperlukan untuk akselerasi pada sumbu Z mesin. Menghitung momen inersia ulir *ballscrew* SFU1605 menggunakan persamaan 22 [6].

$$J_s = \frac{m \cdot D^2}{8 \cdot 10^6} \quad (22)$$

$$J_s = \frac{0,25 \text{ kg} \cdot (10 \text{ mm})^2}{8 \cdot 10^6} = 2,5 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^2$$

Menghitung momen inersia pada sumbu Z mesin berdasarkan momen inersia poros ulir *ballscrew* linier *actuator* menggunakan persamaan 23 [6].

$$J = m \cdot \left(\frac{Ph}{2 \cdot \pi}\right)^2 \cdot 10^{-6} + J_{s2} \quad (23)$$

$$J = 6 \text{ kg} \cdot \left(\frac{6}{6,28}\right)^2 \cdot 10^{-6} + 2,5 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^2 = 5,48 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^2$$

Menghitung rpm motor *stepper* sumbu Z menggunakan persamaan 24 [6].

$$\eta_m = \frac{v}{Ph} \quad (24)$$

$$\eta_m = \frac{1200 \text{ mm/menit}}{5 \text{ mm}} = 240 \text{ rpm}$$

Menghitung percepatan angular pada sumbu Z berdasarkan percepatan angular motor *stepper* sumbu Z menggunakan persamaan 25 [11].

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_m}{60 \cdot t} \quad (25)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 240 \text{ rpm}}{60 \cdot 0,14 \text{ s}} = 179,42 \text{ rad/s}^2$$

Menghitung torsi akselerasi sumbu Z mesin berdasarkan momen inersia sumbu Z dan percepatan angular motor *stepper* sumbu Z menggunakan persamaan 26 [6].

$$T_2 = (J + J_m) \times \omega \quad (26)$$

$$T_2 = (5,48 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^2 + 48 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^2) \times 179,42 \text{ rad/s}^2 = 9 \text{ N.mm}$$

Setelah mendapatkan torsi pemakaian, gesekan dan akselerasi selanjutnya dihitung torsi total yang dibutuhkan untuk menggerakkan sumbu Z mesin:

$$T_{\text{total}} = T + T_2$$

$$T_{\text{total}} = 143,82 \text{ Nmm} + 9 \text{ Nmm} = 0,15 \text{ N.m}$$

Perencanaan Motor Stepper

Motor *stepper* yang dipilih harus mampu menahan beban aksial total total yang terdiri dari beban pemotongan/pemakanan akrilik (*acrylic*) dan beban mesin pada setiap sumbu. Berdasarkan hasil perhitungan torsi total pada perencanaan dan pemilihan *ballscrew* torsi terbesar yang dibutuhkan adalah 0,33 Nm, maka *stepper* yang dipilih memiliki spesifikasi:

Torsi	= 1,6 Nm,
Kuat Arus	= 3 A,
Voltase	= 2,28 V,
Sudut Gerak	= $1,8 \pm 5\%$,
Moment Inersia	= 0,48 kg.cm ² ,
Diameter Poros	= 8 mm,
Tipe	= Hanspose Nema 23HS5628-8

Jadi motor *stepper* yang dipilih sudah mampu untuk menggerakkan tiap sumbu untuk melakukan proses pemakanan.

Perhitungan dan Perencanaan *Linear Guide*

Linear guide yang direncanakan harus mampu menahan beban yang terdiri dari beban pemotongan/pemakanan akrilik (*acrylic*) dan beban rangka gantri. Berdasarkan hasil perhitungan pada perencanaan dan pemilihan *ballscrew* beban gantri ada pada *linear guide* sumbu X sebesar 18 kg/176,52 N dan beban pemotongan sebesar 25,6 N. Jadi beban yang harus ditahan yaitu:

$$F_{\text{total}} = F_{\text{gantri}} + F_{\text{pemotongan}}$$

$$F_{\text{total}} = 176,52 + 25,6 \text{ N} = 202,12 \text{ N}$$

Penulis merencanakan menggunakan *linear guide* HGR20 dengan *block* HGH20, satu *block* HGR20 memiliki *dynamic load* (C_a) sebesar 8433 N. Perlu juga dihitung *safety factor* yaitu: persamaan 27 [10].

$$SF_{\text{block}} = \frac{C_a}{f_s} \times \text{Jumlah block} \quad (27)$$

$$SF_{\text{block}} = \frac{8433}{3} \times 4 = 11\,244$$

Berdasarkan hasil perhitungan beban maka *linear guide* HGR20 dengan *block* HGH20 mampu digunakan sebagai *linear guide* Mesin Spindle Berbasis CNC karena memiliki kemampuan menahan beban yang diterima sesuai dengan teori perhitungan.

Perencanaan *Flexible Coupling*

Flexible coupling berfungsi sebagai meneruskan tenaga gaya putar motor *stepper* ke ulir daya Mesin Spindle Berbasis CNC. Berdasarkan perhitungan dan perencanaan ulir daya torsi maksimal yang diteruskan adalah 0,33 Nm. Berdasarkan torsi yang diteruskan penulis menggunakan *flexible coupling* dengan ukuran diameter luar sebesar 30 mm dan panjang 40 mm karena mampu meneruskan torsi rata-rata sebesar 3 Nm dan torsi maksimal yang diteruskan sebesar 5 Nm. Diameter dalam *coupling* yang dipilih adalah 10 mm ke 8 mm untuk sumbu X dan Y dan diameter 6,35 mm ke 10 mm untuk sumbu Z.

Pembuatan Komponen

Pada tahapan ini dilakukan pembuatan komponen-komponen mekanik Mesin Spindle berbasis CNC, yaitu:

- Rangka, dibuat dengan menggunakan besi *hollow rectangular* 60 x 40 x 1,5 mm serta penguat yaitu besi *hollow square* 40 x 40 x 1,5 mm dan besi *hollow square* 20 x 20 x 1,5 mm untuk pintu *electrical control panel*.
- Rangka sumbu Y, dibuat dengan menggunakan besi *hollow square* 40 x 40 x 1,5 mm, plat 2 mm, dan plat 3 mm dengan dimensi ukuran sebagai berikut :
- Rangka sumbu X, dibuat dengan menggunakan besi *hollow square* 40 x 40 x 1,5 mm, plat 2 mm, dan plat 3 mm dengan dimensi ukuran sebagai berikut:
- Rangka sumbu Z, dibuat dengan menggunakan plat besi dengan ketebalan 3 mm dan plat besi 4 mm.
- Plat bracket pegangan motor stepper, digunakan plat besi ukuran 3 mm.
- Pembuatan plat dudukan *end support*, digunakan plat besi ukuran 3 mm.
- Kotak dudukan *ballscrew nut*, digunakan besi *hollow square* galvanis dengan ukuran 50 x 50 x 1,5 mm.

Pada pembuatan panel *box electrical* digunakan kayu triplek dan plat aluminium 1 mm untuk tutup pintu panel *box electrical* . Pada pembuatan plat tekuk dudukan motor spindle digunakan plat besi 3 mm.

Proses Perakitan

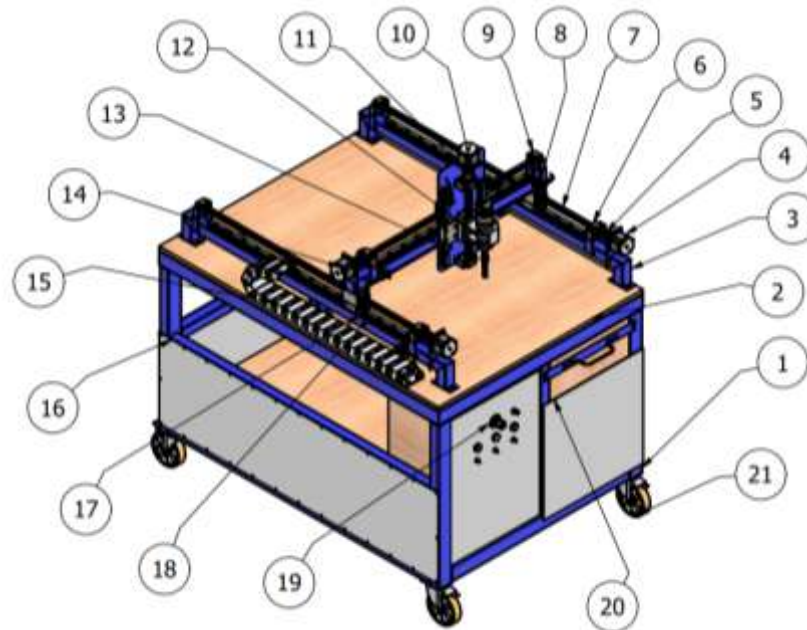
Pada langkah perakitan komponen-komponen yang telah dibuat dirakit menjadi Mesin Spindle Berbasis CNC untuk Kerajinan *Acrylic* (Akrilik). Langkahnya antara lain, yaitu:

- Proses pertama adalah menyiapkan komponen sumbu X dan Y yang sudah dirakit dan melakukan pengelasan plat dudukan motor *stepper*, plat dudukan *end support* dan HGR linier bearing ke rangka.
- Kedua lakukan pemasangan terhadap kotak dudukan *ballscrew nut* pada sumbu Y, dan lakukan pemasangan baut L M5.
- Pasang *ballscrew* panjang 1000 mm pada sumbu Y, 800 mm pada sumbu X, dan *end support* dengan ukuran pada poros depan *ballscrew* menggunakan tipe BK12 dan belakang poros *ballscrew* menggunakan BF12 pada sumbu X dan Y, pastikan pemasangannya lurus diuji dengan menggunakan waterpass dan siku.
- Pasang motor *stepper* pada sumbu X dan Y, dengan tipe motor stepper nema hanspose 23HS5628-8 dengan ukuran poros 8 mm, serta pasang *flexible coupling*, *flexible coupling* menggunakan ukuran 8 mm ke 10 mm.
- Pasang sumbu Z yang sudah dipotong dan dilubangi sesuai dengan dimensi gambar serta kelengkapannya yaitu HGR *linier bearing*, HGH *linier guide*, *end support*, *ballscrew* 400 mm, motor *stepper* nema 23, *flexible coupling* 8 ke 10 mm dudukan *spindle* dan motor *spindle*.
- Pasang kabel *drag chain* disamping pada bagian kiri sumbu Y.
- Pasang kabel *drag chain* dan dudukan kabel *drag chain* disamping pada bagian kiri sumbu X

Selanjutnya, pasang panel *box electrical* ketebalan 10 mm dan tutup plat aluminium ketebalan 1 mm, serta rangkai *wiring* kelistrikannya.

Hasil Rancangan Alat

Motor Spindle Berbasis CNC Untuk Kerajinan Akrilik (Acrylic) ini dirancang agar dapat membuat profil pada *acrylic* dengan sistem kontrol otomatis yang bekerja aman sesuai dengan program.



Gambar 1. Desain Mesin Spindle berbasis CNC Untuk Kerajinan Akrilik (*acrylic*)

Keterangan :

- | | |
|-----------------------------|----------------------------------|
| 1) Rangka besi hollow 40X60 | 12) Bracket motor spindle |
| 2) Meja Kerja | 13) Plat dudukan sumbu Z |
| 3) Rangka X Axis | 14) Motor stepper sumbu Y |
| 4) Motor Stepper X | 15) Kabel <i>Chain</i> |
| 5) <i>Flexible coupling</i> | 16) Cover <i>acrylic</i> sampung |
| 6) BK 12 <i>end support</i> | 17) <i>Rail block</i> |
| 7) Ballscrew | 18) <i>Rail Guide</i> |
| 8) Ballscrew nut | 19) Tombol <i>Emergency</i> |
| 9) BF 12 <i>end support</i> | 20) Laci |
| 10) Motor Spindle | 21) Roda |
| 11) Motor stepper Z | |

Pengujian Mesin

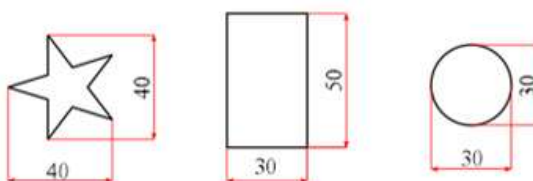
Pengujian sistem bertujuan untuk mengetahui apakah fitur-fitur pada mesin berjalan normal dan juga apakah gerak mesin sesuai dengan perintah yang diinginkan. Adapun pengujian tersebut yaitu:

- a. Pengujian *limit switch* dan *emergency stop*
Setelah melakukan pengujian *switch* dan *emergency switch* berfungsi dengan normal. Untuk *emergency stop* saat ditekan power mesin langsung mati dan di *software* Mach 3 menunjukkan bahwa *emergency stop mode active*, perintah tidak akan bisa dikirim sebelum tombol dikembalikan ke posisi semula dan tombol reset di *software* mach 3 di klik.
- b. Pengujian *limit switch*
Saat melakukan pengujian *limit switch* penulis menemukan permasalahan yaitu *limit switch* atau *Proximity sensor* tidak mau aktif saat menyentuh permukaan sumbu axis, ternyata ada setingan yang kurang pada *software* Mach 3 dimana pada setingan *port and pin*, *low active* harus diaktifkan karena sensor bertipe *normally open*, apabila sensor bertipe *normally close* maka posisi *low active* harus *off/mati*.

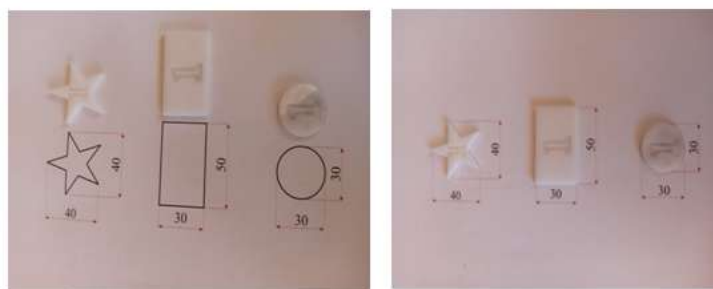
- c. Pengujian hidup mati Mesin *Spindle*
Setelah melakukan pengujian kontrol hidup mati mesin spindle dari *software* Mach 3 berjalan normal dengan mengklik tombol *Spindle CW F5*. Pada perintah manual dengan mengirim perintah kode M3 pada *G-code* spindle juga bisa berjalan dengan normal.
- d. Pengaturan Rpm kecepatan motor spindle
Setelah melakukan pengujian on/off pada spindle yang melalui *software Mach 3*, perlu diketahui untuk mengatur Rpm daripada spindle hanya dilakukan secara manual, dan untuk mendapatkan Rpm yang diinginkan maka digunakanlah alat ukur kecepatan putaran Rpm yaitu Tacho meter.

Pengujian Akurasi Pemakanan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui akurasi dan kepresisian dari gerak tiap sumbu dalam pemakanan benda kerja dan juga kesesuaian bentuk hasil pemakanan dengan desain yang dibuat, pengujian akan dilakukan dengan mencoba melakukan pemotongan (*cutting*) pada akrilik (*acrylic*) warna putih seperti Gambar 2. Dengan ketebalan 3 mm. Hasil pengujian akurasi *feed rate* yang divariasikan dapat dilihat pada Tabel 4 sampai 6.



Gambar 2. Dimensi (mm) desain uji coba uji coba



Gambar 3. Hasil pengujian akurasi pemotongan (*cutting*) akrilik

Tabel 4. Hasil pengujian Desain Lingkaran variasi feed rate Rpm spindle 6000 Rpm

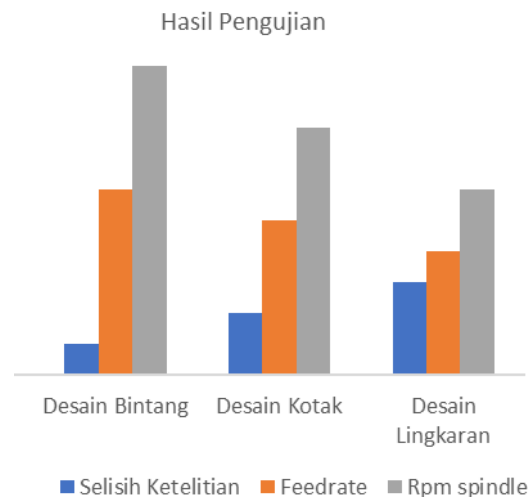
No	Rpm	Feed Rate (mm/menit)	Dimensi desain (mm)	Hasil Pengujian (mm)	Selisih ketelitian (mm)
1	6000	150	30	29,9	0,1
2	6000	300	30	29,9	0,1
3	6000	450	30	29,8	0,2

Tabel 5. Hasil pengujian Desain Kotak variasi feed rate Rpm Spindle 8000 Rpm

No	Rpm	Feed Rate (mm/menit)	Dimensi desain (mm)	Hasil Pengujian (mm)	Selisih ketelitian (mm)
1	8000	150	30 x 50	29,8 x 49,8	0,2 x 0,2
2	8000	300	30 x 50	29,8 x 49,8	0,2 x 0,2
3	8000	450	30 x 50	29,7 x 49,7	0,3 x 0,3

Tabel 6. Hasil pengujian Desain Bintang variasi feed rate Rpm Spindle 10.000 Rpm

No	Rpm	Feed Rate (mm/menit)	Dimensi desain (mm)	Hasil Pengujian (mm)	Selisih ketelitian (mm)
1	10.000	150	40 x 40	39,7 x 39,7	0,3 x 0,3
2	10.000	300	40 x 40	39,7 x 39,7	0,3 x 0,3
3	10.000	450	40 x 40	39,6 x 39,6	0,4 x 0,4



Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian

Dari beberapa data pengujian disimpulkan hasil pengujian bahwa *feed rate* divariasikan berpengaruh terhadap akurasi pemakanan yaitu, semakin tinggi *feed rate* maka selisih ketelitiannya menurun, dan sebaliknya, semakin rendah *feed rate* maka selisih ketelitiannya tinggi, serta hasil kekasaran pemotongan disimpulkan semakin lambat *feed rate* maka hasil pemotongan permukaan benda kerja semakin halus, sebaliknya semakin tinggi *feed rate* maka hasil pemotongan benda kerja semakin kasar, untuk mengetahui kekasaran hasil pemotongan hanya dengan melakukan visualisasi atau melihat permukaan benda kerja.

Prosedur Pengoperasian Mesin

Mengoperasikan Mesin *Spindle* Berbasis CNC agar bisa membuat sebuah produk atau kerajinan yang diinginkan memerlukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membuat gambar dari software CAD

Dalam membuat desain produk penulis menggunakan beberapa software yang digunakan, diantaranya yaitu:

a. Corel Draw 2019 64 bit

Pertama buat desain yang akan dibuat pada *software* Corel Draw 2020 64 bit dan *save file* menggunakan format *DXF*.

b. Autodesk Inventor 2022

Pada *software* ini juga akan digunakan untuk membuat desain dan *save file* menggunakan format *DXF*.

c. Auto CAD 2022

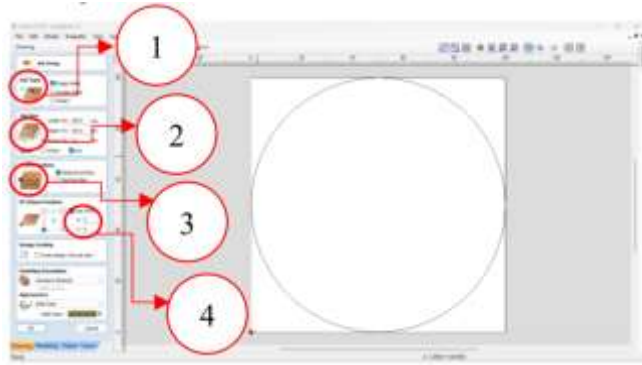
Pada *software* ini juga akan digunakan untuk membuat desain dan *save file* menggunakan format *DXF*.

2. Membuat desain dan *G-code* produk

Dalam membuat desain dan *G-code* produk penulis menggunakan *software* yaitu:

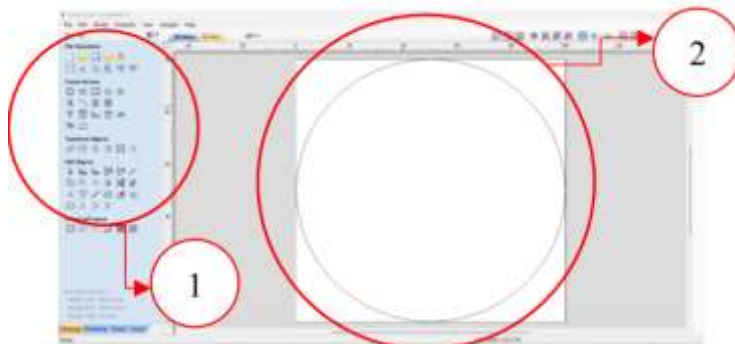
a. Vectric Aspire 9.5

Selanjutnya, file yang sudah menggunakan format *DXF* akan diimport pada *software* Vectric Aspire 9.5 dan akan dibuatkan *G-code* sebelum masuk ke *software* mesin atau Mach 3.



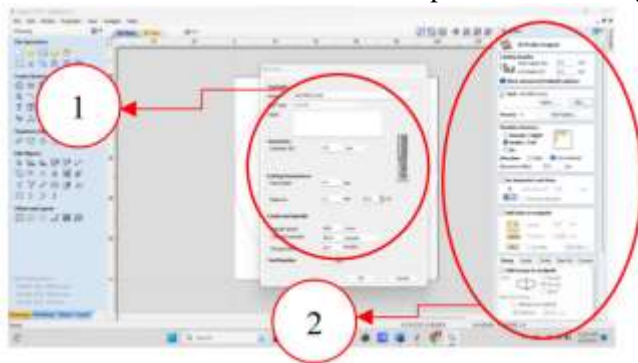
- Keterangan:
1. Pengaturan *Job Setup*.
 2. Pengaturan *Job Size*.
 3. Pengaturan Posisi Nol.
 4. Pengaturan *Offset* sumbu.

Gambar 5. Tampilan awal software Vectric Aspire 9.5



- Keterangan:
1. Tampilan tools fitur 2D.
 2. Area kerja.

Gambar 6. Tampilan setelah mengatur *job sheet*



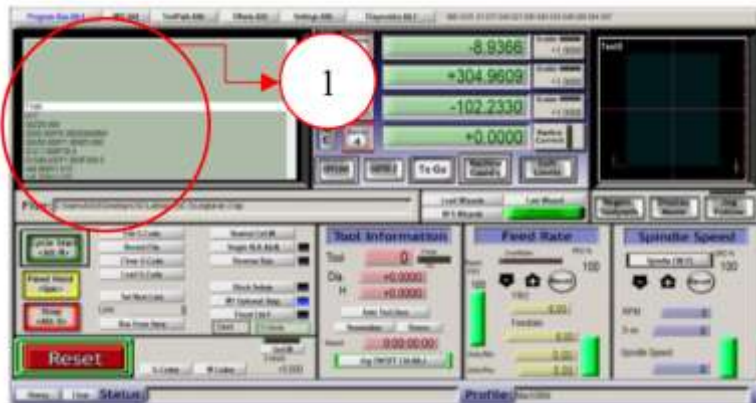
- Keterangan:
1. Tampilan pengaturan diameter endmill, feed rate, spindle speed.
 2. Tampilan fitur *toolpatch*.

Masukan bagian file *DXF* ke software, disini akan dilakukan dengan mengatur gerakan pemakanan mesin nantinya seperti diameter mata endmill, feedrate, kedalaman pemotongan dll, dan juga bisa melakukan simulasi pemotongan.



Gambar 7. Simulasi gerak pemotongan dan hasilnya

Save toolpatch dan buat G-code dan buka pada software Mesin CNC



Keterangan:

1. Tampilan G-code pada software Mach 3.

Gambar 8. Tampilan G-code pada software mach 3

Selanjutnya pengaturan posisi benda kerja dan pengaturan titik nol mesin supaya sesuai pada software Mach 3.



Gambar 9. Pengaturan posisi benda kerja

Klik *Cycle start* untuk memulai proses pemotongan, mesin akan melakukan perintah yang ada pada G-code sampai selesai, selalu utamakan keselamatan kerja dengan menggunakan kacamata *safety* dan selop tangan.



Gambar 10. Proses pemakanan benda kerja

Berikut ini adalah gambar *profile* hasil kerja Mesin Spindle Berbasis CNC yang penulis buat dengan software yang sama dan kecepatan *feed rate* yang sama:



Gambar 11. Hasil pengujian dengan software desain dan G-Code Aspire

KESIMPULAN

Dari hasil pembuatan dan pembahasan Mesin Spindle Berbasis CNC untuk kerajinan akrilik (*acrylic*), dapat disimpulkan:

- a. Cara merancang Mesin Spindle Berbasis CNC (*Computer Numerically Control*) 3 Axis menggunakan BOB (*Breakout Board*) Mach 3 yaitu dengan membuat desain, persiapan alat dan melakukan beberapa perencanaan seperti: motor spindle, jenis *ballscrew*, jenis *linier guide* dan *linier blok*, serta segala perhitungan beban dan area kerja pada Mesin Spindle Berbasis CNC 3 Axis yang sudah direncanakan, sehingga peneliti dapat merancang Mesin Spindle Berbasis CNC (*Computer Numerically Control*) 3 Axis untuk kerajinan *acrylic*.
- b. Setelah dilakukan uji coba untuk mencari data peneliti membuat 3 desain yaitu: desain lingkaran, kotak, dan bintang, dengan Rpm dan *feed rate* yang divariasikan, bahwa Mesin Spindle Berbasis CNC (*Computer Numerically Control*) 3 Axis mampu melakukan proses pemakanan pada bahan akrilik (*acrylic*) dengan aman, dan diharapkan kedepannya Mesin Spindle Berbasis CNC (*Computer Numerically Control*) 3 Axis dapat melakukan pengukiran dan pemotongan terhadap bahan akrilik (*acrylic*) dengan desain yang berbeda dan tentunya dimensinya yang lebih besar.
- c. Dari beberapa data pengujian disimpulkan hasil pengujian bahwa *feed rate* divariasikan berpengaruh terhadap akurasi pemakanan yaitu, semakin tinggi *feed rate* maka selisih ketelitiannya menurun, dan sebaliknya, semakin rendah *feed rate* maka selisih ketelitiannya tinggi, serta hasil kekasaran pemotongan disimpulkan semakin lambat *feed rate* maka hasil pemotongan permukaan benda kerja semakin halus, sebaliknya semakin tinggi *feed rate* maka hasil pemotongan benda kerja semakin kasar, untuk mengetahui kekasaran hasil pemotongan hanya dengan melakukan visualisasi atau melihat permukaan benda kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdul, S., Muhammad, I., Muhammad, R., Sumantri, M., & Kurniawan, P. (2019). Rancang Bangun Mesin Cnc Router Mini untuk Pembelajaran Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin.
- [2] Bambang Setiawan, & Rasma, Thomas Djunaedi. (2020). Rancang Bangun Mesin Cnc Router Portable Dengan . *Cnc, Engraving, Router, Ukir Kayu, Bearing Rail Assembly*, 15-22.
- [3] Harrizal. (2015). *Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin Cnc Milling 3 Axis* (Vol. Iv). Jakarta: Jom Fteknik.
- [4] Hasriyono. (2009). Management Perawatan Dan Perbaikan Mesin. *Repository*, li_1-li_22.
- [5] Ikhlah, S. H., Syafri, & Adh, P. (2017). Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin Cnc.
- [6] Juniantoro, G. (2016). *Analisis Toolpath Variasi Zig Zag Dan Spiral Mesin Cnc*. Surakarta: Eprint.Ums.
- [7] Khaidir, M., Muhammad, Y., Muhtar, Alang, S., & Nanang, R. W. (2021). Rancang Bangun Mesin Cnc Router. *Jurnal Tematis (Teknologi, Manufaktur Dan Industri)*.
- [8] Ludvi, A., & Hera, S. (2021). Perancangan Mesin Cnc Router Kayu Mini. *Seminar Nasional Teknologi Dan Riset Terapan*, 242-247.
- [9] Muhklis, S. (2019). *Rancang Bangun Cnc Mini Router 3 Axis*. Universitas Bangka Belitung, Fakultas Teknik. Jakarta: Repository.
- [10] Permana, A. (2011). *Linier Dan Roller Sliding Ball Bearing*. Jakarta.
- [11] Sularso, & Dan, S. (2004). *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin, Edisi 1*. Jakarta-Indonesia: Pradnya Paramita.
- [12] R. Rahmatullah, K. Umurani, and M. A. Siregar, "Pengembangan Lintasan Pahat Pada Pengefraisan 'Umsu' Menggunakan Cnc Tu-3a," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 4, no. 1, pp. 8–15, 2021.