



Perancangan Mesin CNC Acrylic Cutting 3 Axis Dengan Menggunakan Laser Tube CO₂

Elvando Andha Elvaris Manalu¹, Asmed², Mulyadi³, Yuliarman⁴, Ruzita Sumiati^{5*}

¹²³⁴⁵ Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang

¹elvandoandhaelvarismanalu@gmail.com ³Ruzita.sumiati@gmail.com

Abstract

Almost all activities are carried out with the help of technology. It is as if technology has become a basic need for human life today. Of all the areas that have made progress, machinery is the one that has had the greatest effect. Lots of machines have emerged with new innovations with very diverse functions, one of which is the Computer Numerical Control (CNC) machine. A CNC machine is a machine used in the manufacturing industry to quickly produce large quantities of components for the engineering sector. As the name of the CNC itself, every work from CNC uses a computer system that has been well formed to produce goods that are in accordance with what is desired. Departing from some of the problems above, the author concluded to make a similar technology at a much cheaper price with a more practical work system, therefore the author made a 3 Axis Acrylic Cutting CNC Machine Using a CO₂ Laser Tube".

Keywords: CNC machine, acrylic, CO₂ laser

Abstrak

Saat ini hampir semua aktivitas dilakukan dengan bantuan teknologi. Seakan-akan teknologi menjadi kebutuhan pokok untuk kehidupan manusia saat ini. Dari semua bidang yang mengalami kemajuan, mesin adalah salah satu bidang yang mendapatkan efek paling besar. Banyak sekali bermunculan mesin dengan inovasi baru dengan fungsi yang sangat beragam, salah satunya adalah mesin *Computer Numerical Control* (CNC). Mesin CNC merupakan sebuah mesin yang digunakan dalam industri manufaktur untuk menghasilkan komponen untuk sektor teknik dalam jumlah besar dengan cepat. Seperti nama dari CNC sendiri, setiap pengerjaan dari CNC menggunakan sistem komputer yang telah terbentuk dengan baik hingga menghasilkan barang yang sesuai dengan apa yang dikehendaki. Berangkat dari beberapa masalah di atas, penulis berkesimpulan untuk membuat teknologi serupa dengan harga yang jauh lebih murah dengan sistem kerja yang lebih praktis, oleh karena itu penulis membuat Mesin CNC Acrylic Cutting 3 Axis Menggunakan Laser Tube CO₂.

Kata Kunci: mesin CNC, acrylic, laser CO₂

1. Pendahuluan

Home industri kerajinan acrylic seperti pembuatan ukiran, plakat, pagar, dan barang seni lainnya umumnya dibuat dengan cara pemotongan manual sehingga membutuhkan waktu yang sangat lama untuk satu produk. Mengatasi masalah efisiensi waktu, ketepatan ukir dan pemotongan, custom bentuk akrilik sangat diperlukan penggunaan mesin ukir dan pemotong yang bekerja secara otomatis.

Salah satu mesin potong yang bekerja secara otomatis adalah mesin CNC. Mesin CNC merupakan sebuah mesin yang digunakan dalam industri manufaktur untuk menghasilkan komponen untuk sektor teknik dalam jumlah besar dengan cepat [1]. Pengerjaan dari CNC menggunakan sistem komputer yang telah

terbentuk dengan baik hingga menghasilkan barang presisi sesuai dengan gambar dan ukuran rancangan dengan sistem kerjanya berdasarkan sinkronisasi antara komputer dan mekaniknya [2-4]. Akan tetapi harga mesin CNC sangatlah mahal kisaran harga 70 juta–300 juta. Sehingga untuk kegiatan home industri tidak cocok menggunakan mesin CNC dengan kapasitas besar (*CNC Production Unit*).

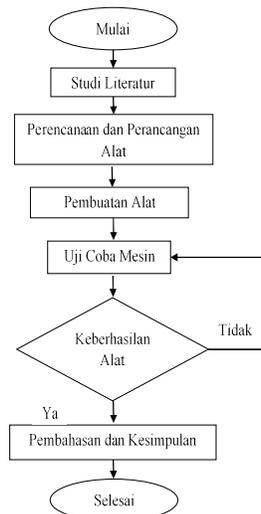
Salah satu solusinya adalah merancang dan membuat mesin CNC sederhana dengan fungsi yang sama dengan mesin *CNC production unit* dengan harga relatif murah untuk membantu kegiatan produksi manufaktur pada home industri acrylic. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang mesin CNC acrylic cutting 3 Axis dengan menggunakan laser tube CO₂. Laser CO₂ merupakan laser yang memancarkan

cahaya monokromatik dan koheren, radiasi laser inframerah dengan panjang gelombang 10,6 μm [5] Teknologi laser saat ini sudah sedemikian pesat dan digunakan hampir disegala bidang, seperti di bidang manufaktur, medis, seni, transaksi perdagangan, dan percetakan. Walaupun ada berbagai jenis laser yang ada di pasaran, namun di bidang manufaktur yang seringkali dijumpai adalah Laser CO₂ [6]. Laser CO₂ tersebut dapat digunakan untuk melakukan proses pemotongan kontur, proses pembuatan lubang (*hole piercing*), proses pengeboran (*drilling*), dan proses pengelasan [7].

Beberapa penelitian yang membahas tentang pemotongan acrylic menggunakan mesin CNC diantaranya Giri Halim dkk [6] membahas tentang analisa kinerja mesin CNC laser cutting CO₂ 2 Axis dari hasil penelitiannya menunjukkan feedrate yang terbaik adalah 50 (mm/menit), dan juga tingkat akurasi dengan bentuk pemotongan alur yang berbeda mempengaruhi pada tingkat keakurasian pemotongan, koefisien akurasi terendah pada bentuk lingkaran 0,73 (mm); Yenny Toguan Samarya dkk [9] membahas tentang aplikasi CNC laser cutting CO₂ untuk pemotongan variasi material (akrilik, plastik) dengan variasi arus dari hasil penelitian hanya menjelaskan tentang bentuk hasil penelitian dinyatakan baik tanpa ada perbandingan dengan tanpa menggunakan mesin CNC laser cutting CO₂. Sementara itu penelitian tentang perancangan mesin CNC laser cutting 3 Axis dengan menggunakan laser cube CO₂ belum ada dibahas pada penelitian sebelumnya.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan-tahapan yang harus dilakukan. Untuk mempermudah langkah-langkah atau proses dalam penelitian agar lebih teratur, maka dibuat diagram alur perancangan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir Rancang Bangun Laser Cutting CO₂

3. Rancangan Mesin CNC

3.1 Gambar Konstruksi Mesin CNC Laser Cutting CO₂

Rancangan mesin CNC Laser Cutting terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Gambar Mesin CNC Laser tube Co2

Dalam perancangan konstruksi yang pertama dilihat adalah pemilihan material bahan dengan kekuatan yang sesuai dengan kondisi beban yang terjadi. Kekuatan rencana harus lebih kecil dari kekuatan bahan yang ditentukan dengan faktor keamanan.

Berat bahan yang digunakan dalam konstruksi dihitung dengan persamaan 1

$$F = m \times g \quad (1)$$

Dengan F adalah gaya berat (N), m adalah massa yang bekerja pada material (kg), dan g adalah gaya gravitasi (m/s^2)

Faktor keamanan dapat dihitung dengan persamaan 2

$$\frac{F}{A} \leq \frac{\sigma_{yp}}{sf} \quad (2)$$

Dengan A adalah luas penampang (m^2), σ_{yp} adalah yield strength (Mpa), Sf adalah faktor keamanan. Dari beban yang dihitung dapat ditentukan bahan yang digunakan untuk konstruksi mesin.

3.2 Penggerak

Penggerak yang digunakan pada penelitian ini adalah motor stepper (Gambar 3) karena motor stepper sangat mudah dalam pengontrolan dan harga relatif murah



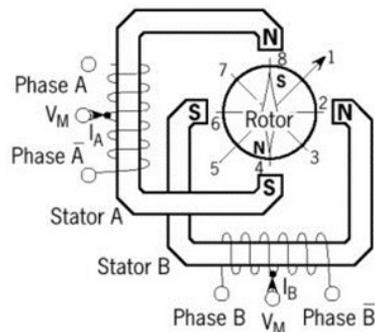
Gambar 3. Motor Stepper [9]

Motor stepper digunakan pada aplikasi yang memerlukan perputaran pada sudut tertentu namun

tidak memerlukan feedback dari sensor posisi. Sudut perpindahan diketahui dengan menghitung jumlah langkah yang telah dilakukan motor stepper merupakan satu-satunya jenis motor DC yang pengendaliannya dapat dilakukan secara open loop.

Motor stepper adalah motor DC yang gerakannya bertahap (step per step) dan memiliki akurasi yang tinggi tergantung pada spesifikasinya. Setiap motor stepper mampu berputar setiap stepnya dalam satuan sudut (0.72°, 0.9°, 1.8°), semakin kecil sudut step-nya maka gerakan per step-nya makin presisi.

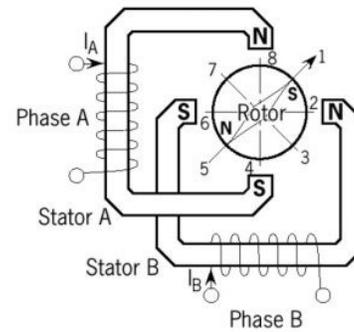
Berdasarkan metode perancangan rangkaian pengendalinya, motor stepper dapat dibagi menjadi jenis unipolar dan bipolar. Rangkaian pengendali motor stepper unipolar lebih mudah dibuat karena hanya memerlukan satu signal On-Off dengan menggunakan switch/transistor pada masing-masing lilitannya. Bentuk lilitan motor stepper unipolar dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Motor Stepper Unipolar [10]

Untuk menjalankan dan menghentikan motor ini cukup dengan menerapkan pulsa digital yang hanya terdiri atas tegangan positif dan nol (*ground*) pada salah satu terminal lilitan (*wound*) motor sementara terminal lainnya dicatu dengan tegangan positif konstan (VM) pada bagian tengah (*center tap*) dari lilitan.

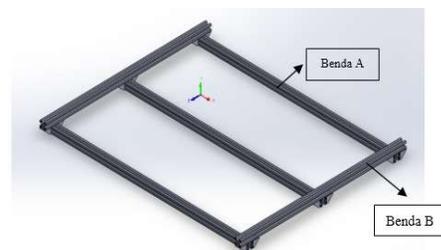
Untuk motor stepper dengan lilitan bipolar, diperlukan sinyal pulsa yang berubah-ubah dari positif ke negatif dan sebaliknya. Jadi pada setiap terminal lilitan (A & B) harus dihubungkan dengan sinyal yang mengayun atau berubah-ubah dari positif ke negatif dan sebaliknya. Karena itu dibutuhkan rangkaian pengendali yang lebih kompleks daripada rangkaian pengendali untuk motor unipolar. Motor stepper bipolar (Gambar 5) torsi yang lebih besar dibandingkan dengan motor stepper unipolar untuk ukuran yang sama.



Gambar 5. Motor Stepper Bipolar [10]

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Perancangan Konstruksi Sumbu Z



Gambar 2 Rangka Sumbu Z

Gambar 6 merupakan rangka sumbu Z dengan perhitungan rangka sebagai berikut:

$$\text{Massa rangka meja} = (0,292 \times 2) + (0,367 \times 3)$$

$$\text{Massa rangka meja} = 1,685 \text{ Kg}$$

$$\text{Massa triplek \& acrylic} = 1 \text{ Kg}$$

$$\text{Massa Bracket L} = 0,16 \times 12 = 1,92 \text{ Kg}$$

$$\text{Massa Baut Meja} = 0,004 \times 6 = 0,024 \text{ Kg}$$

$$\text{Massa total sumbu Z} = 1,685 + 1 + 1,92 + 0,024$$

$$= 4,629 \text{ Kg}$$

$$F = m \times g$$

$$F = 4,629 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F = 45,4 \text{ N}$$

Ulir penggerak yang direncanakan dapat diperhitungkan dari beban sumbu Z. Aluminium Extrusion Profile 2020 terbuat dari bahan Al 6063 T5 dengan yield strength 145 N/mm² dengan faktor keamanan 8.

$$sf = 8$$

$$\frac{F}{A} \leq \frac{\sigma_{yp}}{sf}$$

$$\frac{F}{\frac{1}{4}\pi d^2} \leq \frac{\sigma_{yp}}{sf}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{4F \times Sf}{\pi \times \sigma_{yp}}}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{4(45,4) \times 8}{3,14 \times 145}}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{1452,8}{455,3}}$$

$$d \geq \sqrt{3,19086}$$

$$d \geq 1,78 \text{ mm}$$

Keterangan:

- F = Gaya yang direncanakan (N)
- Mtot = Masa komponen yang direncanakan (Kg)
- Sf = Safety Factor
- σ_{yp} = Yield Strength (Mpa)
- d = Diameter Poros (mm)

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan diameter minimal ulir penggerak adalah 1,78 mm. Untuk pembuatannya diameter ulir penggerak yang digunakan adalah 8 mm.

Perancangan Baut Sumbu Z

Baut pengikat yang digunakan untuk mengikat batang alur *extrusion profile* 2040 sumbu Z ke plat base aluminium direncanakan dari bahan Stainless Steel 304, dengan yield strength 215 Mpa.

Tegangan yang terjadi pada baut adalah tegangan geser. Tegangan yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\tau_g = \frac{F}{A}$$

$$A = \pi \times \frac{d^2}{4}$$

Dimana:

$$F = 45,4 \text{ N}$$

A = Luas penampang baut

Faktor keamanan dari baut stainless steel = 2

$$\tau_g \leq \tau_{gijin}$$

$$\frac{F}{A} \leq \frac{\text{kekuatan geser}}{\text{faktor keamanan}}$$

$$\frac{F}{\pi \cdot \frac{d^2}{4}} \leq \frac{215 \frac{\text{H}}{\text{mm}^2}}{2}$$

$$\frac{45,4 \times 4}{(3,14) \cdot d^2} \leq 107,5$$

$$\frac{45,4 \times 4}{d^2} \leq 337,55$$

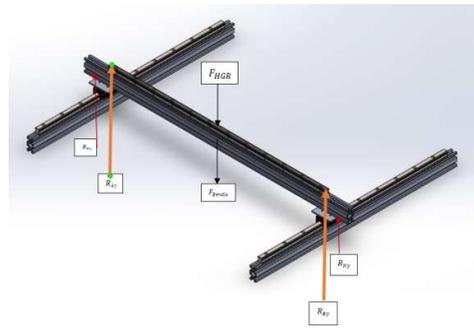
$$d^2 \geq \frac{181,6}{337,55}$$

$$d^2 \geq 0,53799$$

$$d \geq \sqrt{0,53799}$$

$$d \geq 0,73 \text{ mm}$$

3.2. Perancangan konstruksi sumbu X



Gambar 3. Rangka Sumbu X

Diketahui:

Massa HGH = 0,25 Kg

Massa benda HGR = 1,19 Kg

Massa laser head = 0,73 Kg

Massa motor nema17 = 0,255 Kg

Massa loose pulley = 0,013 Kg

Massa bracket Motor X = 0,1 Kg

Massa drag chain = 0,1 Kg

Massa total sumbu X = 2,638 Kg

$$F = m \times g$$

$$F = 2,638 \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F = 25,88 \text{ N}$$

Aluminium *extrusion profile* yang direncanakan untuk digunakan pada konstruksi sumbu X adalah antara aluminium *extrusion profile* 2040. Untuk mengetahui apakah batang aluminium *extrusion* 2040 pada sumbu X ini aman, maka dapat dihitung tegangan yang bekerja pada batang aluminium tersebut. Tegangan yang bekerja pada batang aluminium *extrusion profile* ini adalah tegangan bengkok. Tegangan bengkok pada batang aluminium *extrusion profile* 2040 sumbu X dengan perhitungan sebagai berikut:

Tebal aluminium profile 20×40 : 20mm
 Lebar aluminium profile 20×40(h) : 40mm

$$f_{\text{total}} = 25,88 \text{ N}$$

Diasumsikan aluminium profil adalah berbentuk pejal

$$\tau_b = \frac{Mb}{Wb}$$

$$\tau_b = \frac{f \times \frac{1}{2}l}{b \times h^2/6}$$

$$\tau_b = \frac{6 \times f \times \frac{1}{2} \times l}{b \times h^2}$$

$$\tau_b = \frac{3 \times l \times f}{b \times h^2}$$

$$\tau_b = \frac{3(850) \times (25,88)}{20 \times 40 \times 40}$$

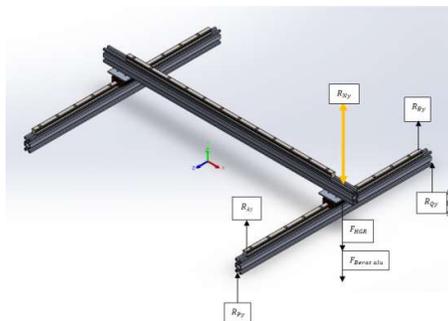
$$\tau_b = 2,06 \text{ N/mm}^2$$

Aluminium *extrusion profile* 2040 terbuat dari bahan Al 6063 T5 dengan *yield strength* 145 N/mm², faktor keamanan 8 maka tegangan bengkok ijin dari bahan adalah (145 N/mm²)/8=18,125 N/mm²

Sehingga, $\tau_b \leq \tau_b \text{ ijin}$
 $2,06 \text{ N/mm}^2 \leq 18,125 \text{ N/mm}^2$

Tegangan bengkok yang terjadi lebih kecil dibandingkan tegangan yang diijinkan sehingga batang aluminium *extrusion profile* 2040 pada sumbu X aman untuk digunakan. Jadi aluminium *extrusion profile* yang dipilih untuk konstruksi sumbu X adalah aluminium *extrusion profile* 2040.

4.2. Perancangan konstruksi sumbu Y



Gambar 4. Rangka Sumbu Y

Gambar 8 merupakan gambar rangka sumbu Y. Aluminium *extrusion profile* yang direncanakan untuk digunakan pada konstruksi sumbu Y adalah aluminium *extrusion profile* 2040. Untuk mengetahui apakah batang aluminium *extrusion* 2040 pada sumbu Y ini aman, maka dapat dihitung tegangan yang bekerja pada batang aluminium tersebut. Tegangan yang bekerja pada batang aluminium *extrusion*

profile ini adalah tegangan bengkok. Tegangan bengkok pada batang aluminium *extrusion profile* 2040 sumbu Y dapat dihitung dengan persamaan.

Diketahui :

- Massa total sumbu x = 2,638Kg
- Massa HGR Y = 1,02 Kg
- Massa Al profil 2040 = 0,6715 Kg
- Massa motor nema17 = 0,255 Kg
- Massa plate = 0,179 Kg
- Massa HGH = 0,25 Kg
- Massa total sumbu Y = 5,0135 Kg

$$F = m \times g$$

$$F = 5,0135 \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F = 49,18 \text{ N}$$

Tegangan bengkok bernilai:

Diasumsikan aluminium profil ini adalah bebentuk pejal

$$\tau_b = \frac{Mb}{Wb}$$

$$\tau_b = \frac{f \times \frac{1}{2}l}{b \times h^2/6}$$

$$\tau_b = \frac{6 \times f \times \frac{1}{2} \times l}{b \times h^2}$$

$$\tau_b = \frac{3 \times l \times f}{b \times h^2}$$

$$\tau_b = \frac{3(49,18) \times 650}{20 \times 40 \times 40}$$

$$\tau_b = 2,99 \text{ N/mm}^2$$

Aluminium *extrusion profile* 2040 terbuat dari bahan Al 6063 T5 dengan *yield strength* 145 N/(mm)², faktor keamanan 8, maka tegangan bengkok ijin dari bahan adalah:

$$\tau_b \leq \tau_b \text{ ijin}$$

$$2,99 \text{ N/mm}^2 \leq 18,125 \text{ N/mm}^2$$

Perancangan baut sumbu Y

Baut pengikat yang digunakan untuk mengikat batang alur *extrusion profile* 2040 sumbu Y ke plat base aluminium direncanakan dari bahan *Stainless Steel* 304, dengan *yield strength* 215 Mpa. Tegangan yang terjadi pada baut adalah tegangan geser. Tegangan yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan.

$$\tau_g = \frac{F}{A}$$

$$A = \pi \times \frac{d^2}{4}$$

Dimana:

$$F = 49,18 \text{ N}$$

$$\tau_g \leq \tau_{gijin}$$

$$\frac{F}{A} \leq \frac{\text{kekuatan geser}}{\text{faktor keamanan}}$$

$$\frac{F}{\pi \cdot \frac{d^2}{4}} \leq \frac{215 \text{ H/mm}^2}{2}$$

$$\frac{49,18 \times 4}{(3,14) \cdot d^2} \leq 107,5$$

$$\frac{49,18 \times 4}{d^2} \leq 337,55$$

$$\frac{196,72}{d^2} \leq 337,55$$

$$d^2 \geq \frac{196,72}{337,55}$$

$$d^2 \geq 0,58278$$

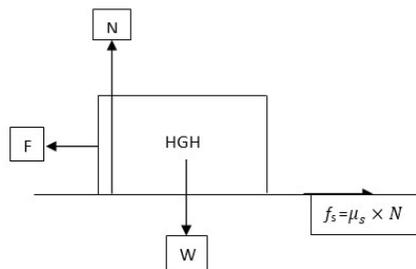
$$d \geq \sqrt{0,58278}$$

$$d \geq 0,76 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan diameter minimal adalah baut 0,76 mm. Untuk pembuatannya dipilih baut M5.

4.3. Pehitungan Daya Motor

Gambar 9 merupakan gaya motor stepper untuk sumbu X, Dalam pembuatan mesin CNC *acrylic cutting* 3 Axis dibutuhkan perencanaan yang sesuai dengan kebutuhan. Berikut merupakan perhitungan torsi dan daya motor *stepper*.



Gambar 5. Gaya Motor sumbu X

Diketahui:

$$\text{Massa Laser Head} = 1 \text{ kg}$$

$$\text{Massa HGH} = 250 \text{ gr} = 0,25 \text{ kg}$$

$$\text{Massa Total} = 1 + 0,25 \text{ kg} = 1,25 \text{ kg}$$

$$\mu_s = 0,12$$

$$w = m_{total} \times g$$

$$= 1,25 \text{ kg} \times 9,8 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$= 12,26 \text{ N}$$

$$+\downarrow \sum F_y = 0$$

$$w - N = 0$$

$$N = w$$

$$= 12,26 \text{ N}$$

$$+\rightarrow \sum F_x = 0$$

$$f_s - F = 0$$

$$F = f_s$$

$$F = \mu_s \times N \quad (F = \mu_s \times N = 0,12)$$

$$= 0,12 \times 12,26 \text{ N}$$

$$= 1,47 \text{ N} \text{ jari - jari timing pulley}$$

$$= 8 \times 10^{-3}$$

$$T = F \times r$$

$$= 1,47 \text{ N} \times 8 \times 10^{-3}$$

$$= 0,01176 \text{ N.m}$$

$$= 1,176 \text{ N.cm}$$

Didapatkan torsi tepat saat bergerak HGH pada sumbu X adalah 1,176 N.cm. Maka digunakan motor *stepper* Nema 17 tipe 17HS4401 untuk sumbu X yang memiliki holding torque 40 N.cm dan dinyatakan aman, karena dalam tepat saat bergerak hanya membutuhkan torsi sebesar 1,176 N.cm 1,176 N.cm < 40 N.cm. Dan daya yang dibutuhkan pada motor stepper dihitung sebagai berikut

$$V_{\max} = 3000 \text{ mm/min}$$

$$V = (\pi \cdot d \cdot n) / 60$$

$$N = (3000 \times 60) / (3,14 \times 16)$$

$$N = 3582,80 \text{ rpm}$$

$$\omega = 2\pi n / 60$$

$$\omega = 374,70 \text{ rad/s}$$

$$P = T \times \omega = 4,40 \text{ watt}$$

$$I = P / V$$

$$I = (4,40 \text{ watt}) / (12 \text{ volt}) = 0,36 \text{ ampere}$$

Keterangan;

T = Torsi rencana motor stepper (Nm)

F = Gaya yang direncanakan (N)

r = Jari-jari poros penggerak (m)

m = Massa (Kg)

g = Kecepatan putar motor (9,81 m/s²)

n = Kecepatan putar motor (rpm)

ω = Kecepatan sudut (rad/detik)

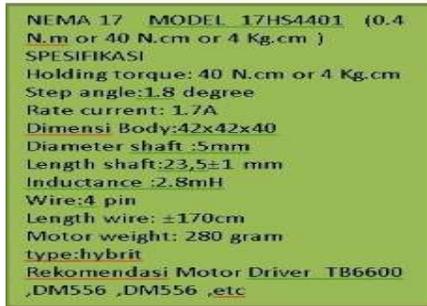
Pps = Kecepatan step masuk (pulsa/detik)

Np = Step per putaran

V = Tegangan (v)

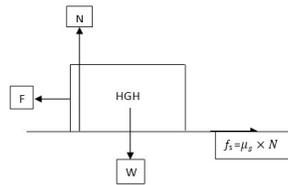
I = Arus (ampere)

Untuk spesifikasi motor *stepper* Nema 17 tipe 17HS4401 dapat dilihat pada Gambar 10



Gambar 6. Spesifikasi Nema 17

Gaya motor *stepper* Sumbu Y pada Gambar 11.



Gambar 7. Gaya Motor Sumbu Y

Diketahui:

$$W = \text{semua gaya berat yang bekerja disumbu X}$$

$$W = 25,88 \text{ N}$$

$$+\downarrow \sum F_Y = 0$$

$$w - N = 0$$

$$N = w$$

$$N = 25,88 \text{ N}$$

$$+\rightarrow \sum F_X = 0$$

$$f_s - F = 0$$

$$F = f_s$$

$$F = \mu_s \times N = 0,12 \times 25,88 \text{ N}$$

$$= 3,1056 \text{ N}$$

$$\text{Jari - jari timming pully } 8 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$T = F \times r$$

$$= 3,1056 \text{ N} \times 8 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$= 0,0248 \text{ N.m}$$

$$= 2,48 \text{ N.cm}$$

Didapatkan torsi tepat saat bergerak HG pada sumbu Y adalah 2,48 N.cm. Dan digunakan motor *stepper* Nema 17 tipe 17HS4401 untuk sumbu Y yang memiliki *holding torque* 40 N.cm dan dinyatakan aman, karena dalam tepat saat bergerak hanya membutuhkan torsi sebesar 2,48 N.cm 2,48 N.cm < 40 N.cm. Untuk daya yang dibutuhkan pada motor *stepper* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$V_{max} = 3000 \text{ mm/min}$$

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60}$$

$$3000 \frac{\text{mm}}{\text{min}} = \frac{3,14 \times 16 \text{ mm} \times n}{60}$$

$$n = \frac{3,14 \times 16}{3000 \times 60}$$

$$n = 3582,80 \text{ rpm}$$

$$\omega = 374,70 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P = T \times \omega$$

$$P = 0,0248 \text{ N.m} \times 374,70 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P = 9,309 \text{ watt}$$

$$P = V \times I$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{9,309 \text{ watt}}{12 \text{ volt}}$$

$$I = 0,775 \text{ Ampere}$$

Karena motor penggerak sumbu Y ada 2 buah maka arus dibagi 2.

$$I = 0,387 \text{ Ampere}$$

Motor *stepper* Sumbu Z

Diketahui:

Diameter ulir (D) = 8 mm

Diameter efek (d) = 7,188 mm

Pitch (p) = 2 mm

Start = 4

Beban yang diangkat (w) = 45,4 N

Gaya yang dibutuhkan untuk mengangkat beban dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F = W \left(\frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha} \right)$$

Dimana:

$$\tan \alpha = \frac{n \times P}{\pi \times d}$$

$$= \frac{4 \times 2}{3,14 \times 7,188}$$

$$\tan \alpha = 0,3539823$$

$$\tan \alpha = \frac{8}{22,6}$$

$$\alpha = 19,49^\circ$$

Koefisien gaya gesek (0,4)

$$F = w \left(\frac{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} \right)$$

$$F = 45,4 \text{ N} \left(\frac{\sin 19,49^\circ + 0,4 \times \cos 19,49^\circ}{\cos 19,49^\circ - 0,4 \times \sin 19,49^\circ} \right)$$

$$F = 45,4 N \left(\frac{0,3336 + 0,4 \times 0,942}{0,942 + 0,4 \times 0,3336} \right)$$

$$F = 45,4 N \left(\frac{0,7107}{0,8085} \right)$$

$$F = 39,90 N$$

Maka, torsi ulir untuk mengangkat 39,90 N dapat menggunakan persamaan.

$$\begin{aligned} \tau &= F \times \frac{d}{2} \\ &= 39,90 N \times \frac{7,188 mm}{2} \\ &= 39,90 N \times 3,594 mm \\ &= 143,43 N.cm \\ &= 14,34 N.cm \end{aligned}$$

Karena pada sumbu Z terdapat 4 ulir yang sama-sama terkena beban sebesar 39,90 N, maka torsi yang dibutuhkan untuk mengangkat dudukan tanpa benda kerja pada sumbu Z adalah 14,34 N.cm. Selanjutnya motor *stepper* yang digunakan adalah Nema 23 tipe 23HS5628 14,34 N.cm < 126 N.cm, spesifikasinya terdapat pada Gambar 13. Untuk daya yang dibutuhkan pada motor *stepper* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$V_{max} = 1000 mm/min$$

$$V = \frac{2\pi \cdot d \cdot n}{60}$$

$$1000 \frac{mm}{min} = \frac{2 \times 3,14 \times 16 mm \times n}{60}$$

$$n = \frac{1000 \times 60}{3,14 \times 16}$$

$$n = 1194,26 rpm$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \times 3,14 \times 1194,26}{60}$$

$$\omega = 125 \frac{rad}{s}$$

$$P = T \times \omega$$

$$P = 0,01176 N.m \times 125 \frac{rad}{s}$$

$$P = 1,46 watt$$

$$P = V \times I$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{1,46 watt}{12 volt}$$

$$I = 0,122 Ampere$$



Gambar 8. Spesifikasi Nema 23

4.4 Pengujian Alat Sistem gerak

Sumbu Z digerakkan dengan motor stepper Nema 23 dan ulir penggerak (*lead screw*) 8mm start 4. Sumbu X dan sumbu Y digerakkan dengan motor *stepper* dan GT2 *timing pulley* + GT2 *timing belt*. Hasil pengujian gerak pada sistem mekanik mesin CNC 3 axis dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Pengujian gerak

No	Sumbu	Jarak Target (mm)	Jarak Sebenarnya (mm)
	X	70	70
	Y	100	100
	Z	40	40

Berdasarkan hasil pengujian di atas, jarak yang diinginkan sama dengan jarak yang sebenarnya. Maka dapat dikatakan bahwa perpindahan jarak sumbu X,Y dan Z akurat.

3.5 Pengujian Area Kerja

Tabel 2 merupakan pengujian area kerja dari mesin CNC *laser cutting* 3 axis

Tabel 2. Area Kerja

No	Sumbu	Jarak Area Kerja (mm)
1	X	515
2	Y	426
3	Z	180

Berdasarkan hasil pengukuran di atas, kita dapatkan area kerja. Area kerja diukur dengan menjadikan batas gerak maksimum *spindle* sebagai patokan. Jarak yang di atas diusahakan tidak melebihi saat melakukan kerja

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari pembuatan rancang bangun mesin CNC *acrylic cutting* 3 axis *laser tube* CO₂ adalah: Perancangan mesin CNC *laser tube* CO₂ 3 axis menggunakan *software lightburn* dengan mempertimbangkan ketahanan korosi, harga, perawatan, dan mudah digunakan bagi masyarakat awam, Untuk perakitan banyak menggunakan baut

dan mur dengan tujuan agar komponen mesin mudah dibongkar pasang dan di *upgrade* atau dipermudah dalam perawatan. Dari hasil pengujian didapat area kerja yang luas yaitu 515×426×180 mm. Hasil perencanaan torsi dan daya motor pada sumbu X, Y, dan Z yaitu sebesar $\tau_x=0,3675$ N.cm, $P_x=0,0288$ watt, $\tau_y=0,1014$ N.cm, $P_y=0,00796$ watt, $\tau_z=0,03634$ Nm, $P_z=1,901$ watt. Berdasarkan perhitungan tersebut maka motor yang dipakai di sumbu X, Y adalah motor stepper Nema 17HS4401 dengan torsi 40 N.cm dan sumbu Z motor *stepper* Nema 23HS5628 dengan torsi 126 N.cm. Material utama penyusun konstruksi mesin CNC laser 3 axis adalah aluminium. Digunakan aluminium, karena memiliki ketahanan karat yang baik, kuat dan, ringan. Untuk kerangka menggunakan aluminium *extrusion profile* T slot 2040 dan 2020. Aluminium ini merupakan paduan aluminium dengan magnesium dan silicon

Daftar Rujukan

- [1] Fauzan, A., Soegiharto, H., Prasetyawan, A. T., & Zain, A. I. (2019). Perancangan Mesin Plotter Batik Berbasis *Computer Numerical Control* (Cnc). Seminar Nasional Teknologi Dan Rekayasa (SENTRA), 139–151.
- [2] D. S. Widodo et al., "Rancang Bangun Mesin CNC 3- Axis Berbasis Mikrokontroler Arduino," pp. 300–308, 2019.
- [3] A. S. dan K. Suharto, Kunto Purbono, "Grafir Batu Alam dengan Mesin CNC *Router* untuk Meningkatkan Ragam Produk Kreatif Indonesia," vol. 7, no. 2, pp. 1– 7, 2017.
- [4] A. Eko and M. Darwis, "Rancang Bangun Mesin Laser *Engraver and Cutter* Untuk Membuat Kemasan Modul Praktikum Berbahan Akrilik," vol. 2, no. 1, pp. 40–50, 2020.
- [5] Whitehouse, David R. 1993. *Guide To Laser Materials Processing, Laser Institute of America.*
- [6] Giri Halim. 2022. Analisa kerja mesin CNC laser cutting CO2 2 Axis berbasis MACH3 pada variasi pemotongan. *Armatur* Vol. 3 No. 1. ISSN (cetak): 2722-080X, ISSN (online): 2722-0796
- [7] Amala, M., Widiyanto S.A. 2015. Pengembangan Perangkat Lunak Sistem Operasi Mesin *Milling CNC Trainer*,JTM. Vol. 2 (3), Hal 204-210
- [8] Yenny Toguan Samarya. 2013. Aplikasi Laser Co2 Untuk Pemotongan (*Cutting*) Material Menggunakan. JSF volume 1 no.1
- [9] Agus Sudarmanto, S. I. (2011). Rancang Bangun Pengendali Motor Stepper untuk Deteksi Jumlah Objek Putar dengan Menggunakan Komputer. *Berkala FISIKA UNDIP*, 1-6.
- [10] Rifai, A., Gunawan, U.S., dan Putra, I.M., 2011. "Rancang Bangun Pengatur Gerak Motor Stepper untuk Peralatan Brakiterapi". *Jurnal Perangkat Nuklir*, vol. 5, No. 2.
-