

Perancangan Sistem Mekanik Penggerak Sumbu X Dan Y Pada Mesin CNC (*Computer Numerical Control*) CO₂ Laser Cutting

Ridwan Kusmayanto^{1,*}, Ghany Heryana¹, Jatira¹

¹Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana, Purwakarta, Indonesia.

ABSTRAK – Mesin CNC CO₂ Laser Cutting adalah mesin yang menggunakan sinar laser untuk memotong atau mengukir bahan tertentu. Mesin ini ditujukan untuk para pelaku usaha kecil menengah (UKM) salah satunya dapat membantu para pengrajin untuk menghasilkan produk-produk kreatif seperti aksesoris, kerajinan tangan, dekorasi dan lainnya. Mesin CNC CO₂ Laser Cutting terdiri beberapa komponen yaitu rangka mesin, motor stepper, timing pulley, timing belt, poros dan bearing. Dengan komponen diatas diharapkan mampu bekerja dengan baik. Hasil perancangan mesin CNC CO₂ Laser Cutting memiliki dimensi panjang 1500 mm, lebar 1200 mm, dan tinggi 330 mm. untuk sumber penggerak menggunakan motor stepper pada sumbu X dan Y dengan torsi yang dikeluarkan sumbu X 0,113 Nm dan daya terbesar sumbu X 3,54 Watt, sedangkan torsi yang dikeluarkan sumbu Y 0,2073 Nm dan daya terbesar sumbu Y 6,5 Watt. Motor yang dipilih adalah motor stepper Nema 17HS4401 dan Sistem transmisi menggunakan timing pulley dan timing belt..

Kata kunci: *Motor Stepper, CNC, Laser Cutting, Timing Pulley*

ABSTRACT – CO₂ Laser Cutting CNC Machine is a machine that uses a laser beam to cut or engrave certain materials. This machine is intended for small and medium enterprises (SMEs), one of which can help craftsmen to produce creative products such as accessories, handicrafts, decorations and others. The CO₂ Laser Cutting CNC machine consists of several components, namely the machine frame, stepper motor, timing pulley, timing belt, shaft and bearings. With the above components are expected to work properly. The results of the design of the CO₂ Laser Cutting CNC machine have dimensions of 1500 mm in length, 1200 mm in width and 330 mm in height. for the driving source using stepper motors on the X and Y axes with a torque issued by the X axis of 0.113 Nm and the greatest power on the X axis of 3.54 Watt, while the torque released on the Y axis is 0.2073 Nm and the greatest power on the Y axis is 6.5 Watt. The selected motor is a Nema 17HS4401 stepper motor and the transmission system uses a timing pulley and timing belt..

Keyword: *Stepper Motor, CNC, Laser Cutting, Timing Pulley*

Dikirim: 21 Agustus 2023; Direvisi: 28 November 2023; Diterima: 29 November 2023

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan bidang teknologi yang semakin pesat baik di industri manufaktur, kerajinan, medis dan percetakan. Hal ini terbukti dengan adanya modern pemesinan yang

digunakan untuk memproses atau membuat barang atau produk, salah satunya adalah penggunaan sistem kontrol dalam dunia industri yaitu penggunaan mesin CNC (*Computer Numerical Control*). Hal ini disebabkan karena produktivitas serta kualitas yang semakin meningkat.

Mesin CNC adalah mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik (data perintah dengan kode angka, huruf dan simbol) sesuai standar ISO (*International Organization for Standardization*) [1]. Sistem pengoperasian CNC menggunakan program yang dikontrol oleh komputer. Sistem kerja teknologi CNC adalah sinkronisasi antara komputer dan mekanik. Jika dibandingkan dengan mesin perkakas konvensional dan sejenis, maka mesin perkakas CNC lebih unggul baik dari segi ketelitian (*accurate*), ketepatan (*precision*), fleksibilitas, dan kapasitas produksi.

Mesin CNC *Laser Cutting* saat ini semakin luas penggunaannya, tidak terbatas pada industri manufaktur saja, tetapi juga untuk industri kerajinan pada usaha-usaha kecil menengah seperti usaha mebel dan interior rumah. Sementara untuk merancang bangun mesin CNC *Laser Cutting* untuk skala Laboratorium dan industri kecil saat ini relatif sudah lebih mudah dilakukan mengingat perkembangan teknologi dan kemudahan mendapatkan komponen-komponen standar dan komponen pendukung serta *software* pendukung yang dapat dibeli dengan lebih murah [2].

Mesin CNC CO₂ *Laser Cutting* adalah sebuah teknologi yang menggunakan laser gas yang bersumber dari gas karbon dioksida (CO₂) kemudian distimulasikan menggunakan proses elektrik untuk memotong material dan biasanya diaplikasikan pada industri manufaktur. Laser CO₂ bekerja dengan cara mengarahkan laser berkekuatan tinggi untuk memotong atau mengukir material [3].

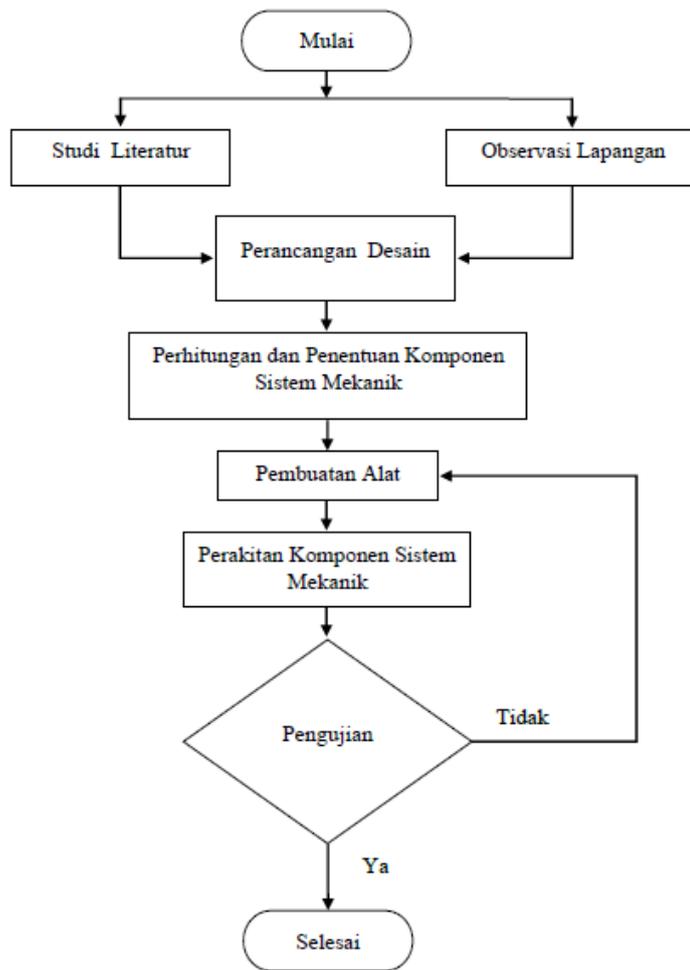
Karakteristik suatu sistem kendali sangat berpengaruh terhadap hasil perpindahan posisi objek yang dikendalikan. Beberapa kemungkinan faktor yang dapat mempengaruhi dari gerakan mesin CNC adalah faktor gesekan dan getaran yang tidak stabil. Hal tersebut dapat mempengaruhi kepresisian dan ketelitian dalam perpindahan posisi pada mesin CNC menjadi kurang akurat.

Berdasarkan latar belakang, maka dari itu penulis bertujuan untuk merancang sistem mekanik mesin CNC *Laser Cutting* CO₂ pada penggerak sumbu X dan Y. dalam perancangan ini juga mencakup beberapa sistem transmisi yang digunakan tentunya dalam pemilihan transmisi perlu beberapa pertimbangan atau perhitungan supaya transmisi yang digunakan sesuai dengan kebutuhan misalnya seperti mencari perhitungan tentang torsi motor *stepper*, perhitungan poros, *timing pulley*, *bearing*.

METODE

Diagram Alir

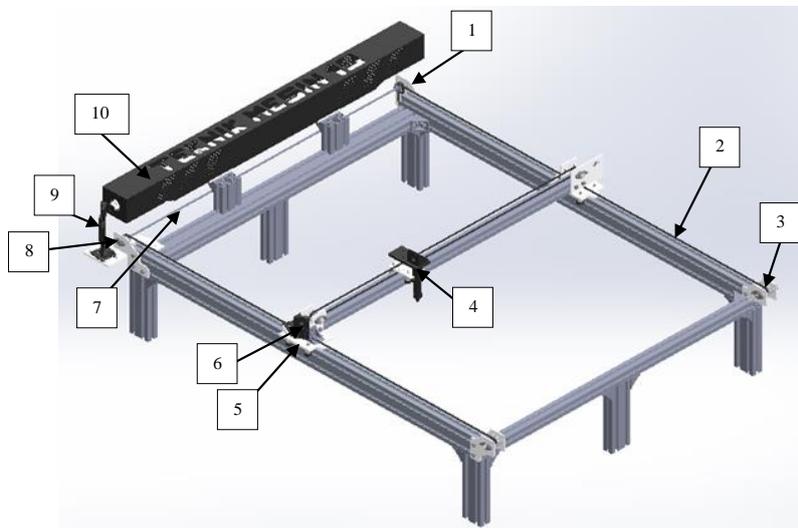
Diagram alir adalah suatu gambaran yang dipergunakan untuk dasar dalam bertindak. Seperti halnya pada perancangan ini memiliki beberapa tahapan-tahapan yang harus dilakukan. Untuk mempermudah langkah-langkah atau proses dalam penelitian agar lebih teratur, maka dibuat diagram alir perancangan seperti pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Sistem Mekanik

HASIL PERANCANGAN

Desain Mesin



Gambar 2. Desain mesin CNC CO₂ laser cutting

Keterangan :

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1. Motor <i>Stepper</i> | 6. 2 nd <i>mirror mount</i> |
| 2. <i>Belt</i> | 7. poros |
| 3. <i>Timing pulley</i> | 8. <i>Pillow block bearing</i> |
| 4. <i>Head laser</i> | 9. 1 st <i>mirror mount</i> |
| 5. <i>Openbuild V-Slot Gantry</i> | 10. Tabung |

Dalam perancangan kontruksi 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 kontruksi dihitung dengan **persamaan 1**.

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

Dimana :

F = gaya berat (N)

m = massa yang bekerja pada material (Kg)

g = gaya gravitasi (m/s²)

Perhitungan Daya dan Torsi Motor Stepper

Motor *stepper* merupakan motor DC (*Direct Current*) 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 [4]. Dalam pembuatan mesin CNC CO₂ *laser cutting* dibutuhkan perencanaan yang sesuai dengan kebutuhan. Berikut merupakan perhitungan torsi dan daya motor *stepper*.

A. Kecepatan putar motor

Perencanaan yang diinginkan adalah dengan motor *stepper* 200 pulsa/rotasi dan kecepatan pulsa masuk 1000 pulsa/detik.

$$n = 60 \frac{Pps}{Np}$$

$$n = 60 \frac{1000}{200}$$

$$n = 300 \text{ Rpm}$$

B. Perencanaan Sumbu X

Pada perhitungan sumbu X beban yang ditumpu yaitu sebesar 2,879 Kg. Maka **persamaan (1)** dapat dihitung gaya berat sumbu X :

$$F = m \times g$$

$$F = 2,879 \text{ Kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F = 28,21 \text{ N}$$

Tabel 1. Perhitungan kebutuhan daya dan beban torsi motor stepper pada sumbu X

| Berdasarkan data beban, dapat dihitung perencanaan torsi | Perhitungan kecepatan sudut mesin CNC CO ₂ laser cutting |
|---|---|
| Diketahui : | ω = kecepatan sudut |
| $F = 28,21$ N (gaya beban) | n = kecepatan putar motor |
| $r = 0,004$ | $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ |
| $T = F \times r$ | $\omega = \frac{2\pi 300}{60}$ |
| $T = 28,21$ N x 0,004 $= 0,113$ N.m | $\omega = 31,4$ rad/s |
| Jadi torsi yang dibutuhkan adalah 0,113 N.m | |
| Setelah torsi dan kecepatan sudut didapatkan maka daya motor (P) dihitung dengan persamaan dibawah ini | |
| $P = T \times \omega$ | $P = 0,113$ N.m x 31,4 rad/s |
| Dimana : | $= 3,54$ Watt |
| P = Daya (Watt) | |
| T = Torsi (N.m) | |
| ω = Kecepatan sudut (rad/s) | |

C. Perencanaan Sumbu Y

Pada perhitungan sumbu Y beban yang ditumpu yaitu sebesar 5,289 Kg. Maka **persamaan (1)** dapat dihitung gaya berat sumbu Y :

$$F = m \times g$$

$$F = 5,289 \text{ Kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F = 51,83 \text{ N}$$

Tabel 2. Perhitungan kebutuhan daya dan beban torsi motor stepper pada sumbu Y

| Berdasarkan data beban, dapat dihitung perencanaan torsi | Perhitungan kecepatan sudut mesin CNC CO ₂ laser cutting |
|---|---|
| Diketahui : | ω = kecepatan sudut |
| $F = 51,83$ N (gaya beban) | n = kecepatan putar motor |
| $r = 0,004$ | $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ |
| $T = F \times r$ | $\omega = \frac{2\pi 300}{60}$ |
| $T = 51,83$ N x 0,004 $= 0,2073$ N.m | $\omega = 31,4$ rad/s |
| Jadi torsi yang dibutuhkan adalah 0,2073 N.m | |
| Setelah torsi dan kecepatan sudut didapatkan maka daya motor (P) dihitung dengan persamaan dibawah ini | |
| $P = T \times \omega$ | $P = 0,2073$ N.m x 31,4 rad/s |
| Dimana : | $= 6,5$ Watt |
| P = Daya (Watt) | |
| T = Torsi (N.m) | |
| ω = Kecepatan sudut (rad/s) | |

Berdasarkan hasil perhitungan diatas diambil daya terbesar untuk motor stepper dengan spesifikasi :

Tabel 3. Spesifikasi motor stepper

| | |
|---------------------------|----------|
| Tipe motor <i>stepper</i> | 17HS4401 |
| <i>Step angle</i> | 1.8° |
| <i>Holding torque</i> | 0,45 Nm |
| <i>Voltage</i> | 12 V |

Perhitungan Diamater Poros, Pulley dan Belt, Bearing

Sabuk gilir disebut juga *timing belt* digunakan terutama untuk mengurangi kemungkinan terjadinya slip pada sistem transmisi sabuk. Selain itu juga digunakan bila dikehendaki putaran konstan atau perbandingan transmisi yang tetap [5-8].

Tabel 4. Perhitungan pulley dan belt

| Kec. Linier Pulley dan Belt | Gaya Tangensial | Panjang Belt |
|--|--|---|
| Dimana : | Dimana : | Panjang keliling sabuk pada penggerak sumbu Y |
| $P = V \times I$ | $F = \text{gaya tangensial (Kg)}$ | |
| $= 12 \text{ Volt} \times 1,7 \text{ Ampere}$ | $v = \text{kecepatan sabuk (m/s)}$ | $L_p = 2C + \frac{\pi}{2}(d_p + D_p) + \frac{1}{4C}(D_p - d_p)^2$ |
| $= 20,4 \text{ Watt}$ | $P = \text{Daya (kW)}$ | $L_p = 2 \cdot 1600 + \frac{\pi}{2}(18 + 18)$ |
| $D_p = 18 \text{ mm}$ | $F_e = \frac{102 \cdot p}{v}$ | $+ \frac{1}{4 \cdot 1600}(18 - 18)^2$ |
| $n_1 = 300 \text{ rpm}$ | $F_e = \frac{102 \cdot 0,0204 \text{ kW}}{0,2826}$ | $L_p = 3200 + 56,52$ |
| $d_p = 18 \text{ mm}$ | $F_e = 7,36 \text{ kg}$ | $L_p = 3256,5 \text{ mm}$ |
| $n_2 = 300 \text{ rpm}$ | | Panjang keliling sabuk pada penggerak sumbu X |
| Kecepatan linier pada belt dan pulley (v) | | $L_p = 2C + \frac{\pi}{2}(d_p + D_p) + \frac{1}{4C}(D_p - d_p)^2$ |
| $v = \frac{\pi d_1 n}{60 \cdot 1000}$ | | $L_p = 2 \cdot 1120 + \frac{\pi}{2}(18 + 18)$ |
| $v = \frac{\pi \cdot 18 \cdot 300}{60 \cdot 1000}$ | | $+ \frac{1}{4 \cdot 1120}(18 - 18)^2$ |
| $v = 0,2826 \text{ m/s} < 30 \text{ m/s}$ | | $L_p = 2240 + 56,52$ |
| jadi baik | | $L_p = 2296,5 \text{ mm}$ |
| | | Maka sabuk (<i>belt</i>) yang dibutuhkan sumbu X adalah 3256,5 mm dan sumbu Y adalah sumbu Y adalah 2296,5 mm |

Poros adalah salah satu bagian terpenting dari setiap mesin [5-8]. Secara umum poros digunakan untuk meneruskan putaran dan daya. Daya dihasilkan oleh gaya tangensial dan momen torsi dan akibatnya daya tersebut ditransmisikan kepada elemen lain yang berhubungan dengan poros.

Tabel 5. Perhitungan poros

| Momen rencana | Tegangan geser | Diameter poros |
|---|--|---|
| Momen rencana (T) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan : | dimana poros yang digunakan adalah bahan SC 45 C dengan kekuatan tarik sebesar 58 (kg/mm ²) maka tegangan geser (τ_α) adalah | Diameter poros dapat dicari dengan menggunakan persamaan : |
| $T = 9,74 \times 10^5 \frac{P_d}{n}$ | | $d_s = \left[\frac{5,1}{\tau_\alpha} K_t C_b T \right]^{1/3}$ |
| Dimana : | | $d_s = \left[\frac{5,1}{4,83} 3 \cdot 2 \cdot 96,6 \right]^{1/3}$ |
| T = momen puntir (kg/mm) | $\tau_\alpha = \frac{\sigma_B}{s f_1 \cdot s f_2}$ | $d_s = 7,71 \text{ mm}$ |
| n ₁ = putaran mesin (Rpm) | $\tau_\alpha = \frac{58}{6 + 2}$ | Dari perhitungan diatas dapat dikatui poros yang akan digunakan pada mesin CNC CO ₂ laser cutting ini berdiameter 8 mm |
| P _d = daya rencana (kW) | $\tau_\alpha = 4,83 \text{ kg/mm}^2$ | |
| $T = 9,74 \times 10^5 \frac{0,0306}{300}$ | | |
| $= 96,6 \text{ mm}$ | | |

Bearing adalah elemen mesin yang berfungsi untuk menumpu poros, supaya gerakan atau putaran poros dapat berlangsung secara halus, aman, serta untuk mengurangi gesekan terhadap komponen yang saling menekan. *Bearing* yang digunakan pada mesin CNC CO₂ laser cutting adalah jenis *bearing* gelinding karena gesekan yang terjadi kecil dan relatif konstan sehingga gesekan yang terjadi pada poros kecil. Dengan menggunakan bantalan gelinding dengan tipe bantalan yang digunakan adalah *pillow block bearing*, karena adanya beban putar dari samping, dan lebih praktis karena bearing sudah dilapisi dengan rumah bearing. Dengan dimensi diameter *shaft* 8 mm.

Pengujian Alat Sistem Gerak

Sumbu X dan sumbu Y digerakan dengan motor *stepper* dan *timing pulley* GT2 dan *timing belt* GT2. Hasil pengujian gerak pada sistem mekanik mesin CNC CO₂ laser cutting dapat dilihat pada **tabel 6**.

Tabel 6. Pengujian gerak

| No | Sumbu | Jarak percobaan (mm) | Jarak sebenarnya (mm) |
|----|---------|----------------------|-----------------------|
| 1 | Sumbu X | 100 | 100 |
| 2 | Sumbu Y | 150 | 150 |

Berdasarkan hasil pengujian diatas, jarak percobaan sama dengan jarak yang sebenarnya. Maka dapat dikatakan perpindahan jarak sumbu X dan sumbu Y akurat.

Pengujian Area Kerja

Tabel 7. Merupakan pengujian area kerja dari mesin CNC CO₂ *laser cutting*.

Tabel 7. Area kerja

| No | Sumbu | Jarak area kerja (mm) |
|----|---------|-----------------------|
| 1 | Sumbu X | 800 |
| 2 | Sumbu Y | 1100 |

Berdasarkan hasil pengujian pengukuran diatas, kita dapatkan luas area kerja mesin. Oleh karena itu untuk menjaga keamanan mesin maka pada setiap ujung sumbu koordinat mesin dipasang *limit switch*, sehingga apabila spindel mesin bergerak melebihi batas area kerja maka mesin akan mati secara otomatis.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Perancangan mesin CNC CO₂ *laser cutting* yang dibuat mampu menghasilkan mesin dengan dimensi panjang 1500 mm, lebar 1200 mm, dan tinggi benda kerja 330 mm.
2. Motor penggerak pada mesin CNC CO₂ *laser cutting* menggunakan jenis motor *stepper* dengan type Nema 17HS4401 dengan torsi 45 N.cm berjumlah 2 buah.
3. Hasil perhitungan torsi dan daya pada motor stepper dinyatakan aman

REFERENSI

1. Amala, M., Widiyanto S.A., *Pengembangan Perangkat Lunak Sistem Operasi Mesin Milling Cnc Trainer*, JTM, 2015. Vol. 2 (3), Hal 204-21
2. Salam, Abdul dkk., *Rancang Bangun Mesin CNC Laser Router Sebagai Media Pembelajaran*. Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, 2020.
3. Saputro, A. E., Darwis, M., *Rancang Bangun Mesin Laser Engraver and Cutter Untuk Membuat Kemasan Modul Praktikum Berbahan Akrilik*. Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan, 2020 2(1), 40-50.
4. Mujadin, A., & Astharini, D., *Uji Kinerja Modul Pelatihan Motor Penunjang Mata Kuliah Mekatronika*. Jurnal Al-Azhar Indonesia: Seri Sains dan Teknologi, 2016. 3(3), 127-133.
5. K. Suga and Sularso, *Dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin*, Pradnya Paramita, Jakarta, 2008.
6. D. Canra, D. Suwandi, A. Da'ud, Suliono, dan M. Rahmi. *Rancang Bangun Dan Pengujian Mesin Pelumat Tanah Liat Bakal Cetak Batu Bata Metode Screw Conveyor*. Journal of Applied Mechanical Technology, **1(1)**: p. 16-21.
7. Y. N. Rohmat, Rachmatullah, R. M. Akbar, Badruzzaman, L. V. Gunawan, dan O. A. Nugroho. *Perancangan Mesin Penggulung Dinamo Semi-Otomatis*. Journal of Applied Mechanical Technology, **1(1)**: p. 36-45.
8. TB. U. A. Subekhi, G. Heryana, D. A. Rajab, dan Nizarudin. *Rancang Bangun Mesin Pencacah Nangka Muda Sebagai Bahan Produksi Makanan Megono*. Journal of Applied Mechanical Technology, **2(1)**: p. 1-9.