

DESAIN DAN SIMULASI TEGANGAN PADA MESIN CNC LASER CUTTING UNTUK PRODUK BERBAHAN ACRILIC

Mohamad Syaifullah

Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muria Kudus
Email: syaifulla@gmail.com

Masruki Kabib

Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muria Kudus
Email: masruki.kabib@umk.ac.id

Akhmad Zidni Hudaya

Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muria Kudus
Email: Akhmad.zidni@umk.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mendesain mesin CNC Laser *Cutting* bersifat *portable*, alat ini menggunakan laser sebagai alat potong untuk mengerjakan benda kerja, dengan ukuran laser berdiameter 0,02 mm, Metode penelitian yang digunakan untuk tahap perancangan yaitu melakukan studi literatur lalu menganalisa kebutuhan pembuatan mesin, memilih dan membandingkan beberapa alternatif desain, melakukan pemilihan konsep, perancangan modul laser serta, perancangan sistem gerak 3 axis, perancangan daya motor serta mensimulasikan *frame* dengan menggunakan metode elemen hingga. Hasil penelitian ini memperoleh skematik sistem kontrol mesin CNC Laser, menghasilkan prototipe mesin CNC Laser, dan nilai parameter dari data-data hasil uji kinerja mesin CNC Laser dengan microcontroller CNC 3 aksis berbasis *Atmega328 Arduino nano* dengan modul laser 5,5 Watt dengan kapasitas maksimal bidang kerja 200x100x10 mm. Hasil simulasi tegangan *von missis stress* sebesar 0,07658 MPa.

Kata kunci: mesin cnc, laser *cutting*, akrilik

ABSTRACT

The objective of research is to design a portable CNC Laser Cutting machine, this tool uses a laser as a cutting tool to work on a workpiece, with a laser size of 0.02 mm in diameter, and comparing several design alternatives, making concept selection, designing laser modules as well, designing 3 axis motion systems, designing motor power and simulating frames using the finite element method. The results of this research was obtained a schematic of a CNC Laser machine control system, producing a prototype CNC Laser machine and the parameter value of the performance test data of a CNC Laser machine with a 3-axis CNC microcontroller based on Atmega328 Arduino nano with a 5.5 Watt laser module with a maximum work area capacity of 200x100x10 mm. The simulation results of the stress von misses stress is 0.07658 MPa.

Key words: *CNC machine, laser cutting, acrylic.*

1. PENDAHULUAN

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di industri saat ini berkembang dengan cepat terutama di bidang otomatisasi industri. Perkembangan ini dapat dilihat dengan jelas di perindustrian Indonesia, mulai dari yang awalnya banyak pekerjaan menggunakan tenaga manusia, kemudian berkembang berubah menggunakan mesin dan pekerjaannya beralih menjadi operator. Tujuan otomatisasi sebuah proses adalah untuk menciptakan kualitas produk yang tinggi, mengurangi biaya produksi, dan mengurangi waktu produksi dalam suatu proses produksi [1].

Mesin CNC memiliki dua atau lebih arah gerakan yang disebut dengan sumbu axis. Gerakan pada axis antara lain linear yang merupakan garis lurus atau gerakan circular yang merupakan gerakan melingkar. Pada umumnya sumbu yang terdapat pada mesin CNC adalah X, Y, dan Z. Salah satu spesifikasi yang dapat memperlihatkan kerja yang kompleks dari mesin CNC adalah berupa banyak *axis* yang dimilikinya serta kombinasi gerakan pada setiap axisnya [2].

Prinsip kerja pemotongan laser adalah mengarahkan sinar laser daya tinggi ke material yang akan dipotong melalui computer. Teknologi pemotongan laser perusahaan dapat memotong bentuk yang sulit diproses pada mesin milling CNC. Hasil yang didapat cukup akurat karena memiliki tingkat akurasi 0,001 mm. Frekuensi operasi dioda pemotongan laser itu sendiri dalam spektrum yang terlihat adalah sekitar 10¹⁴ Hz-15 Hz, atau ratusan ribu kali frekuensi gelombang mikro. Cahaya yang dihasilkan digunakan untuk memotong berbagai bahan, seperti akrilik, plat besi [3].

Beberapa mesin yang dikembangkan oleh peneliti sebelumnya, salah satunya adalah mesin pemotongan laser G-Weike LC6090 yang digunakan untuk melakukan proses pemotongan dan pengukuran. Menurut informasi yang diberikan oleh pemasok, mesin tersebut mampu mengolah berbagai bahan, seperti akrilik, polikarbonat, kayu MDF, kayu lapis, kulit, PCB, dan kertas. Kekurangan dari mesin ini adalah tidak menggunakan sumbu 3 sumbu, melainkan hanya 2 sumbu [4].

Saat ini di pasaran banyak tersedia bermacam-macam alat potong mekanis yang sudah otomatis, termasuk diantaranya yang berbasis Computer *Numerically* Controlled (CNC).

CNC (*Computer Numerical Control*) adalah suatu mesin yang dikendalikan secara numerik oleh komputer atau mikrokontroler. CNC diciptakan karena pengoperasian mesin dengan cara manual oleh manusia memiliki banyak keterbatasan. Karena mesin CNC dikendalikan oleh komputer atau mikrokontroler maka pergerakan pada sumbu X dan sumbu Y serta sistem Z dapat dikendalikan secara presisi mengikuti perintah [5].

Untuk melengkapi konstruksi mekanis mesin CNC, dibutuhkan sistem kontrol yang nantinya berfungsi sebagai otak mesin. Dimana seluruh parameter pemesinan nantinya akan di-setup dan dioperasikan melalui sistem kontrol tersebut. Sehingga mesin ini nantinya bisa berperilaku seperti mesin modern yang dapat beroperasi dalam tiga sumbu [6].

Para Peneliti telah memperoleh skematik sistem kontrol mesin CNC Laser, menghasilkan prototype mesin CNC Laser, dan nilai parameter dari data-data hasil uji kinerja mesin CNC Laser dengan mikro controller CNC 3 aksis berbasis Atmega328 Arduino nano.

Para Peneliti juga mendesain model mesin CNC laser cutting yang dapat memudahkan industri seni kreatif akrilik dalam pembuatan produk dengan waktu yang

singkat dan dengan bentuk yang berbagai ragam variasi lainnya, sehingga dapat menciptakan daya saing dan produktivitas yang tinggi.

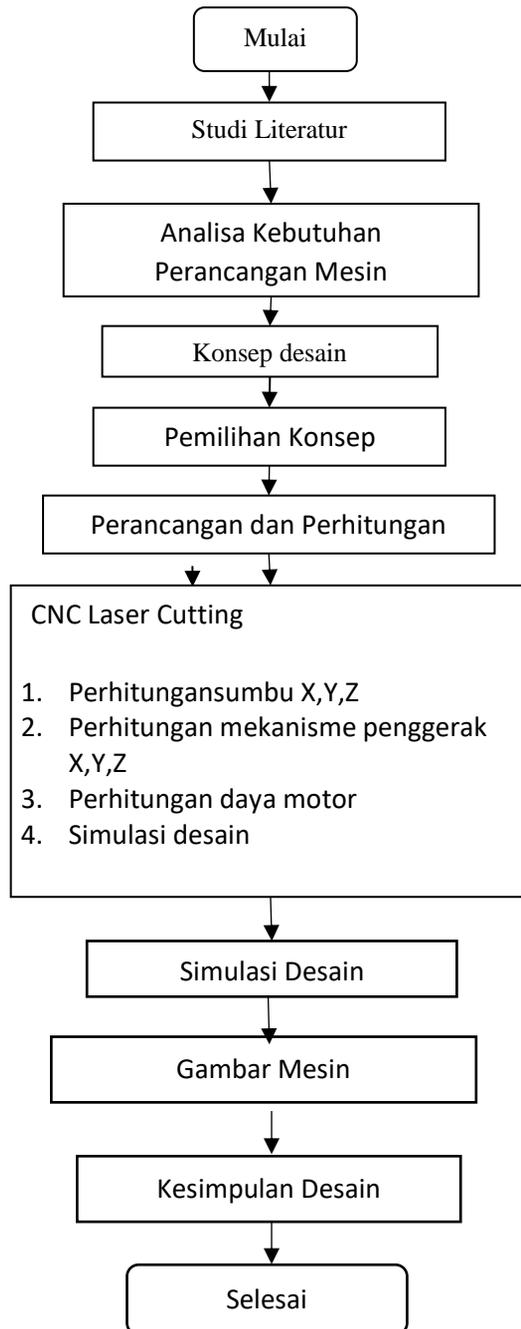
Sistem sumbu 3 aksis telah di kembangkan pada implementasi sistem control putaran motor untuk penggerak engkol pada mesin simulator gempu 3 axis. Mesin simulator gempu menggunakan 2 jenis motor listrik untuk menggerakkan mekanisme engkol penggerak *shake table*, motor DC untuk sumbu X,Y, dan motor AC untuk sumbu Z, dikarenakan sumbu memiliki beban yang paling besar dari semua sumbu yang pada mekanismenya sumbu Y mendorong 3 buah kerangka meja, oleh karena itu menggunakan motor AC yang memiliki torsi motor yang besar[7]. Sistem control gerak telah di kembangkan untuk kepresisian proses pemotongan, dengan mengendalikan putaran motor listrik [8].

Analisa pembebanan pada *frame* telah dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan *software*. Dasar dari metode elemen hingga adalah membagi benda kerja menjadi elemen-elemen kecil yang jumlahnya berhingga sehingga dapat menghitung reaksi akibat beban pada kondisi batas yang diberikan [9].

Penelitian ini bertujuan mendesain dan simulasi tegangan Mesin CNC Laser *Cutting* bersifat *portable*, alat ini menggunakan laser sebagai alat potong untuk mengerjakan benda kerja, dengan ukuran laser berdiameter 0,02 mm, untuk memotong bahan akrilik dengan ketebalan 10 mm.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Proses desain mesin cnc laser *cutting* ditunjukkan pada gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram alir perancangan mesin cnc laser *cutting*

1. Studi Literatur.

Studi literatur meliputi : pencarian berupa jurnal dan skripsi-skripsi yang sudah pernah dibuat dan terkait dengan desain cnc laser *cutting*.

2. Analisa Kebutuhan.
Analisa kebutuhan : menyesuaikan kebutuhan dalam aspek teknik, aspek manufaktur, aspek perakitan, aspek perawatan, aspek ergonomi dan aspek lingkungan agar memudahkan pengguna alat tersebut.
3. Konsep Desain.
Melakukan proses konsep desain dengan memberikan gambaran perbandingan dari alat yang di bangun dengan suatu pengertian mesin cnc laser *cutting*.
4. Pemilihan konsep desain.
Melakukan proses pemilihan konsep desain dari beberapa konsep desain yang telah di sajikan, dengan mempertimbangkan segi keefektifitas sistem kerjanya.
5. Perancangan.
Menentukan modul laser, perhitungan motor, perhitungan sumbu, perhitungan mekanisme penggerak 3 sumbu (X,Y dan Z).
6. Simulasi.
Melakukan simulasi desain dengan menggunakan *software autodesk inventor academy 2019*.

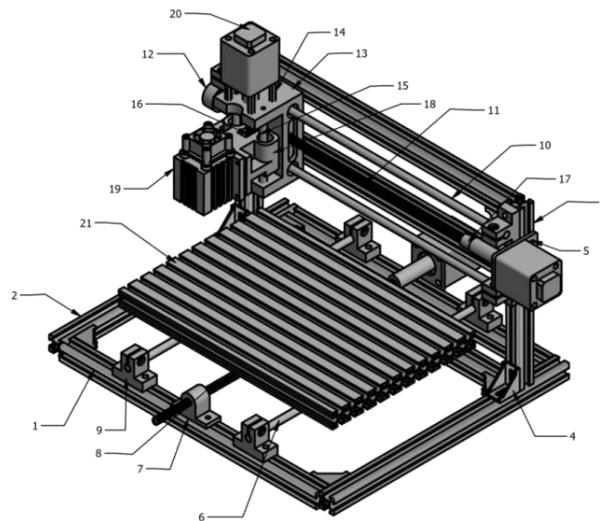
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa kebutuhan sistem

Mekanisme perancangan mesin *CNC Laser cutting* ini menggunakan data primer dan data skunder, dimana data primer dilakukan dengan observasi dan data sekunder diperoleh dari buku, jurnal dan media internet sedangkan data sekunder dilakukan peninjau pada ukuran yang di butuhkan oleh konsumsi. Sehingga dapat memperbaiki kekurangan tersebut dan akhirnya dapat diperoleh rancangan dan akan dilakukan ke proses pembuatan mesin *CNC Laser cutting* untuk pembuatan kerajinan berbahan akrilik

3.2 Desain Mesin

Konsep desain *CNC Laser Cutting* ini terdapat beberapa komponen yang digunakan seperti gambar 2 yang dibawah ini :



Gambar 2. Desain Mesin cnc laser *cutting* untuk produk berbahan akrilik.

Pada Gambar 2. terlihat bahwa mesin *cnc laser cutting* terdiri dari komponen : 1) *Frame* 1, 2) *Frame* 2, 3) *Frame* 3, 4) *L shape joint*, 5) *Mounting* motot stepper, 6) *Poros* pengarah sumbu Y, 7) *Bracket bearing* sumbu Y, 8) *Lead screw* sumbu Y, 9) *Bracket* poros pengarah, 10) *Poros* pengarah sumbu X, 11) *Lead screw* sumbu X, 12) *Bracket bearing* sumbu X, 13) *Nut*, 14) *Spacer*, 15) *Poros* pengarah sumbu Z, 16) *Lead screw* sumbu Z, 17) *Fleksible couple*, 18) *Bracket* modul laser, 19) *Modul laser*, 20) *Motor stepper*, 21) *Meja kerja*.

3.3 Fungsi komponen

- 1) *Frame* 1,2,3 berfungsi sebagai penompang komponen-komponen dan motor.
- 2) *L shape joint* berfungsi sebagai penyambung *frame* 1,2,3
- 3) *Mounting* motor stepper sebagai dudukan motor stepper.
- 4) *Poros* pengarah sumbu Y berfungsi sebagai rail jalannya arah maju mundur *work area*.
- 5) *Bracket bearing* sumbu Y berfungsi sebagai dudukan/bantalan ujung *lead screw* saat berputar.
- 6) *Bracket* poros pengarah berfungsi mendukung pengunci poros.
- 7) *Poros* pengarah sumbu X berfungsi sebagai rail jalannya arah kekanan dan ke kiri *bracket* modul laser.
- 8) *Lead screw* sumbu X berfungsi mendukung jalannya *bracket* sumbu Z , sehingga *bracket* tersebut bisa berjalan kearah kanan dan kiri .
- 9) *Bracket bearing* sumbu X berfungsi sebagai dudukan/bantalan ujung *lead screw* saat berputar.
- 10) *Nut* berfungsi mendukung untuk kuncian *bracket* sumbu X,Y, dan Z ke *lead screw* agar bias menjalankan ketiga *bracket* tersebut.
- 11) *Spacer* berfungsi sebagai penyangga motor stepper sumbu Z.
- 12) *Poros* pengarah sumbu Z berfungsi sebagai rail jalannya arah keatas dan kebawah *bracket* modul laser.

- 13) Lead screw sumbu Z berfungsi mendukung jalannya arah bracket modul laser, sehingga laser dapat bergerak keatas dan kebawah
- 14) Fleksible couple berfungsi sebagai alat penyambung motor stepper ke lead screw.
- 15) Bracket modul laser berfungsi sebagai alat untuk mencekam modul laser.
- 16) Modul laser berfungsi untuk memotong atau menggores benda kerja.
- 17) Motor stepper berfungsi mendukung sebagai penggerak sumbu X,Y,Z.
- 18) Meja kerja sebagai dudukan/tempat benda kerja saat proses pemotongan bahan.

3.4 Perhitungan Mesin

- a. CNC Laser *Cutting* ini memerlukan adanya perencanaan daya motor yang diperlukan agar sesuai dengan kebutuhan, dihitung dengan persamaan 1.

$$n = 60 \frac{Pps}{Ns} \quad (1)$$

Dimana n adalah kecepatan putar motor (rpm), Pps adalah kecepatan pulsa masuk (Pulsa/detik), Ns adalah banyaknya pulsa satu kali putar (Pulsa/rotasi). Daya motor 3 Axis juga dapat dihitung dengan persamaan 2.

$$v = \frac{\text{Panjang lead screw sumbu X}}{\text{Pitch lead screw}} \quad (2)$$

Daya motor yang dibutuhkan untuk gerak maju dihitung dengan persamaan 3:

$$P = T_1 \cdot v \quad (3)$$

Dimana T_1 adalah torsi lead screw gerak maju, v adalah putaran *lead screw*
Daya motor yang dibutuhkan untuk gerak mundur dihitung dengan persamaan 4 :

$$P = T_2 \cdot v \quad (4)$$

Dimana T_2 adalah torsi lead screw gerak mundur, v adalah putaran *lead screw*

- b. Perhitungan poros X,Y dan Z
Momen bengkok maksimum poros, dihitung dengan persamaan 5.

$$Mb \max = \frac{W \cdot L}{8} \quad (5)$$

Dimana $Mb \max$ adalah momen bengkok maks (Nmm), W adalah beban poros (N), L adalah panjang poros (mm)

Tegangan pada poros, dihitung dengan persamaan 6.

$$fg = \frac{\sigma t \max}{8} \quad (6)$$

Dimana fg adalah tegangan geser ijin (N/mm^2) dan $\sigma t \max$ adalah tegangan tarik maksimum (N/mm^2)

Diameter poros dihitung dengan persamaan 7.

$$d = \sqrt{\frac{4 \times w}{\pi \times \sigma_t}} \quad (7)$$

- Dimana d adalah diameter, 4 adalah satuan, w adalah beban bawaan (N), σ_t adalah jenis poros aluminium (N/mm^2),
 c. *Frame* Mesin, dihitung dengan persamaan 8.

$$\sigma_{izin} = M/E \quad (8)$$

- Dimana σ_{izin} adalah Tegangan Izin Suatu Bahan (N/mm), M adalah Momen Lentur (N/mm), E adalah Modulus elastisitas (mm)
 d. Momen Inersia, dihitung dengan persamaan 9.

$$I = I_{x'} = \frac{1}{12}bh^3 - \frac{1}{12}b'h'^3 \quad (9)$$

- e. Tegangan Permukaan dihitung dengan persamaan 10.

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} \quad (10)$$

Dimana M adalah Momen, C adalah Titik tengah y , I adalah Momen inersia pada *frame*

- f. Tegangan *Von mises*, dihitung dengan persamaan 11.

$$safety\ factor = \frac{Yield\ Point\ Stress}{Working\ atau\ design\ stress} \quad (11)$$

Pada perhitungan mesin menghasilkan nilai seperti pada tabel 1, 2, 3 dan 4.

Tabel.1 hasil perhitungan daya motor mesin cnc laser cutting

Perhitungan	Hasil
Daya motor gerak maju sumbu X	6,84 Watt
Daya motor gerak mundur sumbu X	4,58 Watt
Daya motor gerak maju pada sumbu Y	9,97 Watt
Daya motor gerak mundur pada sumbu Y	4,58 Watt
Daya motor gerak maju pada sumbu Z	4,664 Watt
Daya motor gerak mundur pada sumbu Z	3,12 Watt

Tabel. 2 hasil perhitungan poros sumbu X cnc laser cutting

Perhitungan	Hasil
Tegangan geser ijin poros	17 N/mm^2
Tegangan bengkok	176 N/mm^2
Momen bengkok	778,68 Nmm
Diameter poros	0,31 mm

Tabel 3 hasil perhitungan poros sumbu Y cnc laser cutting

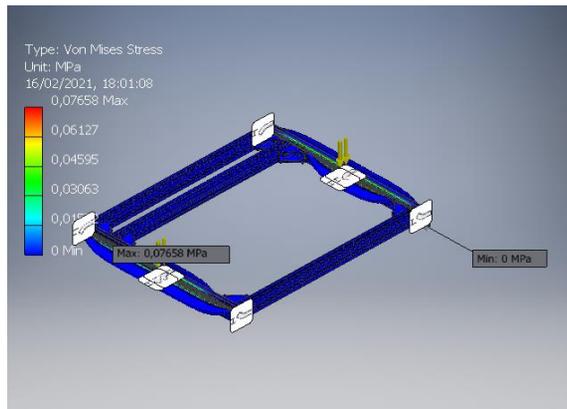
Perhitungan	Hasil
Tegangan geser ijin poros	17 N/mm^2
Tegangan bengkok	176 N/mm^2
Momen bengkok	292000 Nmm
Diameter poros	8 mm

Tabel.4 hasil perhitungan poros sumbu Z cnc laser cutting

Perhitungan	Hasil
Tegangan geser ijin poros	$17N/mm^2$
Tegangan bengkok	$176 N/mm^2$
Momen bengkok	939000 Nmm
Diameter poros	8 mm

3.5 Analisa Tegangan pada *Frame*

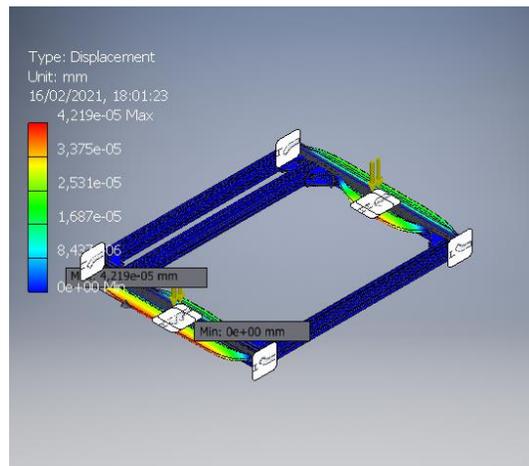
3.1 Besar tegangan *von mises* pada rangka/*frame* ditunjukkan pada gambar 3



Gambar. 3. Analisa Von mises stress pada *frame* cnc laser cutting

Pada gambar 3 menunjukkan distribusi tegangan ke seluruh bagian geometri mesin cnc laser cutting mempunyai nilai *von mises stress* sebesar 0,07658 Mpa dan nilai *von mises stress* minimal 0 Mpa.

3.2 Nilai *Displacement* pada mesin cnc laser cutting pada gambar 4



Gambar .4. *Displacement* pada rangka mesin cnc laser cutting

Gambar menunjukkan distribusi tegangan ke seluruh bagian geometri rangka mesin cnc laser *cutting* mempunyai nilai *Displacement maximal* sebesar 4,219e-05 mm dan nilai *Displacement minimal* sebesar 0 mm..

Berdasarkan hasil penelitian terhadap desain mesin *laser cutting* mempunyai daya 35 Watt, daya modul laser 5,5 Watt dan torsi yang terjadi 22,58 Kg/mm yang mempunyai tegangan geser izin sebesar 17 Kg/mm² mesin ini menggunakan poros berdiameter 8 mm yang sesuai dengan bantalan 6006 yang digunakan, dengan dimensi mesin 450x400x300 , dimensi *work area* 300x200x35, kecepatan potong 22 s di setiap panjang akrilik 200 mm dan peneliti menggunakan metode elemen hingga dalam merancang desain dan mensimulasikan mesin cnc *laser cutting*

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini adalah sebagai berikut Telah dihasilkan desain mesin cnc laser *cutting* dengan dimensi mesin 450x400x300 , dimensi *work area* 300x200x35, kecepatan potong 22 s di setiap panjang akrilik 200 mm, daya penggerak 35 Watt dan daya modul laser 5,5 Watt. Hasil simulasi *von mises stress* menggunakan metode elemen hingga. Komponen yang dianalisa dalam penelitian ini adalah *frame* mesin mendapatkan hasil simulasi nilai *von-mises-stress frame* adalah 0,07658 Mpa.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. J. Daywin, D. W. Utama, W. Kosasih, and K. William, "Perancangan Mesin 3d Printer Dengan Metode Reverse Engineering (Studi Kasus di Laboratorium Mekatronika dan Robotics Universitas Tarumanagara) Frans Jusuf Daywin, Didi Widya Utama, Wilson Kosasih, Kevin William," vol. 7, no. 2, pp. 79–89, 2019.
- [2] A. R. Widiyanto, Alfi rindi, Alfi Iklima, 2018, *Prototype Pembuatan Cnc Dengan Pemanfaatan Pemanfaatan Motor Stepper Berbasis Arduino Uno*, thesis, Universitas Teknologi Yogyakarta.
- [3] B. Suprianto, "Rancang Bangun Mesin Cnc Milling 3- Axis Untuk," vol. 3, no. 1, pp. 40–47, 2019.
- [4] G. Kahl, "L aser- c apture m icrodissection (LCM) ," *Dict. Genomics, Transcr. Proteomics*, vol. 15, no. 01, pp. 1–1, 2015, doi: 10.1002/9783527678679.dg06699.
- [5] S. Suroso, A. Lukmana, and N. T. Sanyoto, "Pengembangan Mechanic Cutting Dengan Tiga Derajat Kebebasan Berbasis Ballscrew," *MATRIK (Jurnal Manaj. dan Tek.*, vol. 17, no. 1, p. 73, 2017, doi: 10.30587/matrik.v17i1.165.
- [6] H. Fauzi, 2018, Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin Laser Engraving, President University Lembar Pernyataan Keaslian," no. May, 2018.
- [7] A. Ghany, M. Kabib, Qomaruddin, Taufiq Hidayat, 2020, Desain Dan Implementasi Sistem Kontrol Putaran Motor Pada Gerak Simulator Gempa 3 Axis, *jurnal Cracnkshaft*, vol. 3, no. 1, pp. 25–34, 2020.
- [8] P. Kushartanto, M. Kabib, R. Winarso, 2019, Sistem Kontrol Gerak Dan Perhitungan Produk Pada Mesin Pres Dan Pemotong Kantong Plastik, *Jurnal Crankshaft*, Volume 2 No. 1, pp 57-66.
- [9] S. Kuntoro, M. Kabib, 2018, Analisis Kekuatan Dies Frame Link Pada Mesin Roll Pipa 2 In Penggerak Hidrolik Dengan Metode Elemen Hingga, *Jurnal Simetris*, Volume 9, Nomor 2, pp. 941 - 946