

# PERANCANGAN DAN ANALISIS STRUKTUR MEKANIK PROTOTIPE LASER CUTTING

Hafiz Ramadhani<sup>1</sup>, Syafri<sup>2</sup>

Laboratorium Hidrolik Dan Pneumatik, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Km 12.5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

<sup>1</sup>Hafizramadhani31@gmail.com, <sup>2</sup>Prie\_00m022@gmail.com

## Abstract

*Laser Cutting machine is a machine that uses a laser beam to cut or carve a particular material. This machine is aimed at small and medium enterprises (UKM) to produce creative products such as decoration, handicrafts, accessories and more. Previously it has been produced some machines that use lasers as cutting tools, but some of the table is very difficult to by UKM, because the price is expensive. In order to fulfill the needs of UKM for cheapest Laser Cutting machines, this research can be obtained Laser Cutting machine with the same function but with an affordable price. In the design process used Autodesk Inventor 2015 software as well as analysis of structural strength in this design. In the analysis process was done with 2 ways, with manual calculations and simulation using Autodesk Inventor 2015. Then from the calculation were results obtained voltage that occurs on the y-axis = 0.21 MPa on the x-axis 1.05 MPa then deflection that occurs on the y-axis =  $1.67 \cdot 10^{-3}$  and on the x-axis =  $5.9 \cdot 10^{-2}$ . Therefore, in this research is revealed a safe category of machine Laser Cutting machine.*

**Keywords :** Laser Cutting machine, stress, deformation

## 1. Pendahuluan

Berdasarkan salah satu program dari Kementerian Perindustrian yang ditampilkan pada situs <http://www.kemenperin.go.id> dan pada salah satu artikel disebutkan bagaimana industri kreatif saat ini sedang menjadi tumpuan dalam rangka meningkatkan pertumbuhan industri dan ekonomi nasional khususnya dibagian di industri menengah dan kecil [1]. Penelitian rancang bangun mesin *Laser Cutting* dua axis merupakan salah satu upaya dalam rangka meningkatkan produkifitas usaha kecil menengah (UKM) terutama yang bergerak dalam bidang industri kreatif.

Hal ini karena mesin *Laser Cutting* dapat melakukan pemotongan material dengan bentuk yang rumit sehingga mampu menghasilkan sebuah produk akhir dengan bentuk yang menarik dan nilai estetika tinggi. Penelitian ini diawali dengan pemodelan bentuk konstruksi mesin *Laser Cutting* dengan perangkat Auto Desk Inventor. Selanjutnya dari hasil pemodelan dilakukan simulasi untuk melihat perilaku rangka yang pada saat dilakukan pembebanan. Dari hasil pemodelan diperoleh seperangkat gambar teknik yang nantinya digunakan sebagai acuan untuk memproduksi mesin *Laser Cutting*. Dari gambar teknik yang nantinya dijadikan acuan untuk memproduksi mesin *Laser Cutting*. Lalu berdasarkan gambar teknik hasil perancangan diproduksi seuruh komponen mekanik mesin *Laser Cutting*.

Untuk meningkatkan kemampuan produksinya, UKM dituntut agar menggunakan mesin kontrol numerik dalam proses produksinya. Supaya berbagai aspek permintaan konsumen dapat dipenuhi. Namun

dalam realisasinya, pengadaan mesin perkakas kontrol numerik bukanlah hal yang mudah, karena pengadaan mesin tersebut membutuhkan biaya yang cukup besar, sehingga dirasa sangat memberatkan untuk bidang usaha sekelas UKM. Sebagaimana diketahui pada UU No. 9 tahun 1995 bahwa UKM adalah badan usaha yang memiliki kekayaan bersih paling banyak Rp. 200.000.000 (dua ratus juta rupiah) [2], sehingga dirasa sangat memberatkan bila UKM harus memiliki sebuah mesin *Laser Cutting* yang harganya bisa mencapai ratusan juta rupiah. Berdasarkan kondisi tersebut maka perlu dilakukan sebuah penelitian dalam merancang dan membuat mesin perkakas kontrol numerik dengan biaya murah yang nantinya memungkinkan untuk digunakan oleh industri kecil sekelas UKM yang ada di tanah air. Semua komponen tersebut selanjutnya dirakit menjadi satu, sehingga diperoleh bentuk fisik.

*Laser Cutting* sangat diperlukan, karena memotong suatu bahan sesuai desain yang diinginkan dan dengan kualitas pemotongan yang bagus. Hasil potongan pinggiran dipengaruhi oleh kekuatan daya *laser*, kekasaran permukaan, gerakan kecepatan *laser* serta keahlian operator dalam pengembangan *software Laser Cutting* [3].

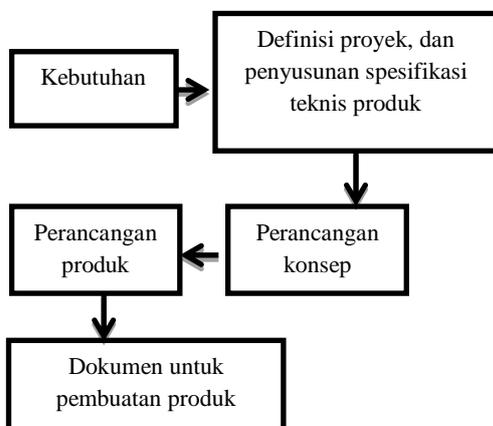
## 2. Metodologi

### 2.1 Perancangan

Tahapan perancangan merupakan tahapan-tahapan dalam melakukan desain agar mendapatkan produk yang sesuai keinginan dan kegunaannya. Pada Gambar 1 dapat dilihat Proses perancangan dilakukan berdasarkan perancangan deskriptif

french, proses ini terdapat lima langkah utama, yaitu dengan menjabarkan kebutuhan, definisi proyek, perancangan konsep produk serta dokumen untuk pembuatan produk[4].

Berdasarkan bentuk objeknya, perancangan dapat dibagi menjadi tiga [5]. Yang pertama adalah perancangan asli, yaitu merupakan desain penemuan yang benar-benar didasarkan pada penemuan yang belum pernah ada sebelumnya. Yang kedua adalah pengembangan atau modifikasi, yaitu merupakan pengembangan produk yang sudah ada dalam rangka peningkatan efisiensi, efektivitas, atau daya saing untuk memenuhi tuntutan pasar atau tuntutan zaman. Selanjutnya yang ketiga adalah adopsi yaitu merupakan perancangan yang mengambil sebagian sistem atau seluruhnya dari produk yang sudah ada untuk penggunaan lain, dengan kata lain untuk mewujudkan alat mesin yang memiliki fungsi lain.



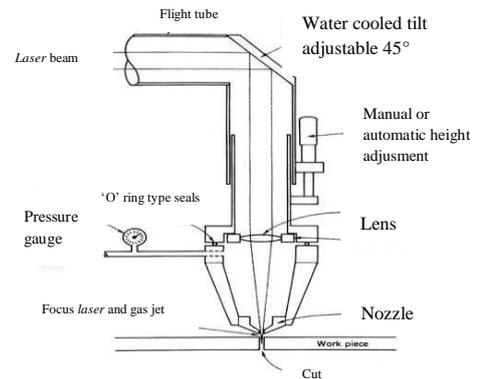
**Gambar 1.** Tahapan perancangan [4]

Tahapan perancangan merupakan tahapan-tahapan dalam melakukan desain agar mendapatkan produk yang sesuai keinginan dan kegunaannya. Proses perancangan dilakukan berdasarkan perancangan deskriptif french, proses ini terdapat lima langkah utama, yaitu dengan menjabarkan kebutuhan, definisi proyek, perancangan konsep produk serta dokumen untuk pembuatan produk [6].

## 2.2 Mesin Laser Cutting

Laser adalah singkatan dari *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, yang berarti penguatan cahaya melalui radiasi yang dirangsang seperti pada Gambar 2. Ketika suatu atom berada pada tingkat eksitasi, kemudian disinari dengan foton yang sesuai maka electron pada tingkat terektisi ini akan turun ke tingkat energi yang lebih rendah dengan memancarkan foton. Jika cahaya ini mengenai atom lain yang berdekatan, maka akan lebih banyak lagi cahaya yang dilepaskan. Kemudian akan terjadi reaksi berantai terus menerus sehingga atom-atom mengeluarkan cahaya secara bersamaan. Jika cahaya tersebut dipantulkan oleh

cermin-cermin khusus, lama kelamaan intensitasnya menjadilebih tinggi sehingga mampu menembus cermin dan terbentuklah sinar laser [7].



**Gambar 2.** Laser Cutting [8]

## 2.3 Analisis Struktur Dengan Perhitungan Manual

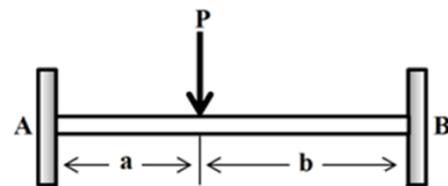
Analisis struktur dimulai dengan menentukan gaya yang bekerja pada struktur. Terdapat gaya yang bekerja pada struktur, yaitu gaya karena berat sendiri [9]. Setelah diketahui berat sendiri maka dilakukan perhitungan gaya. Kemudian selanjutnya menentukan tegangan maksimum yang terjadi dengan menggunakan persamaan no 1[10] berikut:

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \quad (1)$$

Dimana :

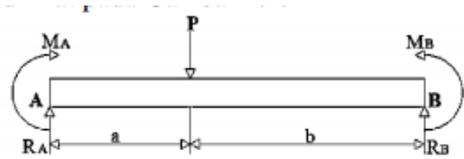
- $\sigma_{max}$  = Tegangan maksimum (N/m<sup>2</sup>)
- $\sigma_x$  = Tegangan pada arah sumbu-x (N/m<sup>2</sup>)
- $\sigma_y$  = Tegangan pada arah sumbu-y (N/m<sup>2</sup>)
- $\tau_{xy}$  = Tegangan geser pada bidang xy (N/m<sup>2</sup>)

Defleksi yang terjadi dipengaruhi oleh bentuk, pembebanan dan material *beam*. Gambar 3 menunjukkan suatu pembebanan dengan 2 tumpuan jepit sebagai tumpuannya.



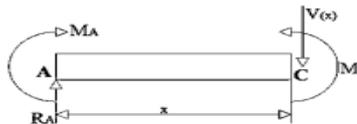
**Gambar 3.** Beam Dengan 2 Tumpuan Jepit

Diagram benda bebas tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Diagram Benda Bebas *Beam* Dengan 2 Tumpuan Jepit

Selanjutnya kita Gambarkan diagram benda bebas bagian potongan *Beam* AC pada panjang  $x$  adalah  $0 \leq x \leq a$ , seperti yang dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Diagram Benda Bebas potongan *Beam* AC

Dari Gambar 5 diatas dapat ditentukan nilai M, yaitu :

$$M = EI \frac{d^2y}{dx^2} = M_A + R_A x$$

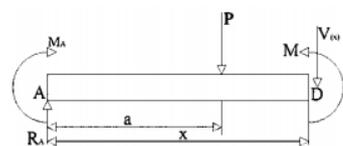
$$EI \frac{dy}{dx} = M_A x + \frac{1}{2} R_A x^2 + c_1$$

$$EI y = \frac{1}{2} M_A x^2 + \frac{1}{6} R_A x^3 + c_1 x + c_2 \quad (2)$$

Dimana :

- M = Momen bending (N.m)
- E = Modulus elastisitas (Gpa)
- I = Momen inersia ( $m^4$ )
- $R_A$  = Reaksi tumpuan pada titik A (N)
- y = Deformasi yang terjadi (mm)

Selanjutnya gambarkan diagram benda bebas bagian potongan AD pada panjang  $x$  adalah  $a \leq x \leq L$ , seperti pada Gambar 7.



**Gambar 6.** Diagram Benda Bebas *Beam* AD

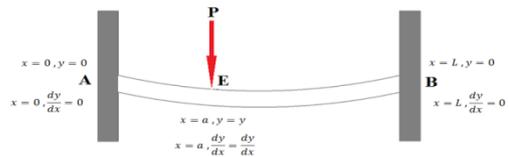
Dari Gambar diatas dapat ditemukan nilai M, yaitu :

$$M = EI \frac{d^2y}{dx^2} = M_A + R_A x - P(x - a)$$

$$EI \frac{dy}{dx} = M_A x + \frac{1}{2} R_A x^2 - \frac{1}{2} P(x - a)^2 + c_3$$

$$EI y = \frac{1}{2} M_A x^2 + \frac{1}{6} R_A x^3 - \frac{1}{6} P(x - a)^3 + c_3 x + c_4 \quad (3)$$

Selanjutnya tetapkan kondisi batas yang terjadi pada *Beam*, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6.



**Gambar 7.** Penetapan Kondisi Batas

Lalu masukan kondisi batas tersebut kepersamaan untuk potongan AC dan AD, maka didapatkan nilai :

$$M_A = \frac{Pb^3 - Pb^2(a+b)}{L^2}$$

$$M_A = -\frac{Pab^2}{L^2} \quad (4)$$

Reaksi tumpuan titik A :

$$R_A = \frac{Pb^2 L + 2Pab^2}{L^3} = \frac{Pb^2(a+b) + 2Pab^2}{L^3}$$

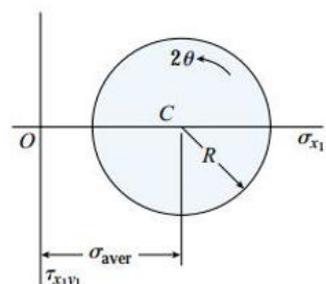
$$R_A = \frac{Pb^2(3a+b)}{L^3} \quad (5)$$

Defleksi maksimal yang terjadi pada *Beam* :

$$EI y = \frac{1}{2} M_A a^2 + \frac{1}{6} R_A a^3$$

$$y = \frac{1}{EI} \left( \frac{1}{2} M_A a^2 + \frac{1}{6} R_A a^3 \right) \quad (6)$$

Untuk menentukan lingkaran mohr. Lingkaran mohr adala suatu pemetaan secara aktual dan kombinasi tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja pada suatu elemen tegangan untuk semua sudut orientasi elemen[11]. Pada Gambar 7 :



**Gambar 8.** Lingkaran Mohr

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3} \quad (7)$$

## 2.4 Analisis Elemen Hingga

Analisis elemen hingga dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Autodesk Inventor 2015. Adapun proses analisis tersebut sebagai berikut [12] :

1. Pemilihan material
2. Proses *meshing*

3. Penetapan *constraint*
4. Penetapan beban
5. Jalankan simulasi program

$$R_i = \iiint W_i QdV^e \quad (8)$$

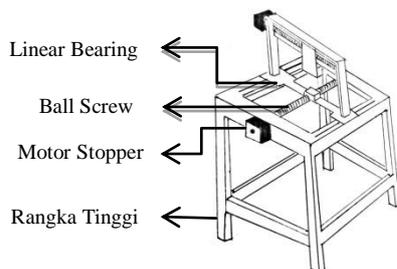
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Rancangan

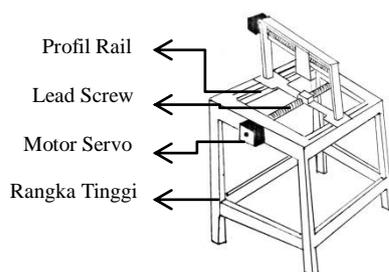
Perancangan dilakukan berdasarkan diagram pada Gambar 1. Perancangan yang dimulai dengan menentukan beberapa kriteria untuk desain yang diinginkan yaitu :

1. Aman.
2. Ketelitian yang tinggi.
3. Mudah perawatan
4. Mudah dalam penggunaannya.
5. Dimensinya proposional.
6. Harga relative murah.
7. Spare part mudah didapatkan

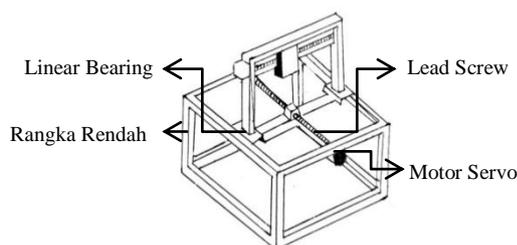
Berdasarkan kriteria tersebut bisa didapatkan beberapa konsep desain yang akan dikembangkan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11 dan Gambar 12 berikut :



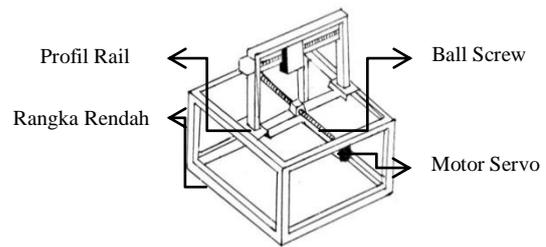
Gambar 9. Konsep 1



Gambar 10. Konsep 2



Gambar 11. Konsep 3



Gambar 12. Konsep 4

Setelah dilakukan variasi konsep rancangan maka langkah selanjutnya adalah pemilihan konsep desain yang paling baik berdasarkan keinginan pengguna menggunakan matrik morfologi dengan cara memberi bobot untuk tiap konsep, seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Matrik Pengambil keputusan konsep rancangan

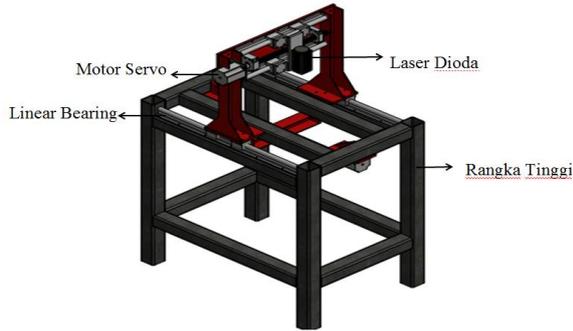
No	Kriteria seleksi	bobot	Konsep			
			1	2	3	4
1	Keamanan dalam pengoperasian	10	+	+	-	-
2	Ketelitian yang tinggi	10	+	-	-	+
3	Kuat dan tahan lama	7	+	+	+	+
4	Komponen tidak banyak	6	-	-	+	+
5	Biaya material murah	7	-	-	+	+
6	Biaya pembuatan	9	+	-	+	-
7	Ringan	6	-	-	+	+
8	Pengoperasian murah	9	+	+	-	-
9	Kemungkinan dimassalkan	8	+	+	+	+
Total +			6	4	6	6
Total -			3	5	3	3
Total keseluruhan bobot			53	34	43	44

Maka dapat diputuskan menggunakan konsep produk dengan penilaian tertinggi ialah konsep 1. Dengan spesifikasi :

1. Penggunaan rangka tinggi dikarenakan dalam keamanan tentu diperhitungkan ketinggian rangka tersebut, sehingga rangka tinggi lebih efektif digunakan.
2. Rancangan menggunakan motor stepper dikarenakan pergerakannya lebih halus karena terbagi menjadi 20 step, memiliki torsi tinggi pada putaran rendah.
3. Serta rancangan menggunakan *ball screw* diantara nut dan bolt terdapat ball (gotri) fungsinya untuk mengurangi koefisien gesek.
4. Serta transmisi menggunakan *linear bearing* dengan pertimbangan menggunakan *ball bearing* sehingga mampu memperkecil gesekan.

Sehingga konsep inilah yang akan dikembangkan menjadi prototype mesin *Laser*

Cutting. Dengan bentuk rancangan pada Gambar 13.



**Gambar 13.** Konsep Desain Prototipe Mesin *Laser Cutting*

### 3.2 Analisis Struktur

Berdasarkan diagram ulir untuk perhitungan manual dan analisis elemen hingga, maka didapatkan hasil struktur seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil Analisis Struktur

Hasil Analisis		Bagian Yang Dianalisis	
		Sumbu-y	Sumbu-x
Displacement (mm)	Perhitungan	$1,67 \cdot 10^{-5}$	$5,9 \cdot 10^{-2}$
	Manual		
	Analisis Elemen Hingga	$5,9 \cdot 10^{-4}$	$9,68 \cdot 10^{-4}$
Tegangan Maksimal (MPa)	Perhitungan	0,21	1,05
	Manual		
	Analisis Elemen Hingga	0,15	1,19

### 3.3 Pembahasan

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat adanya perbedaan antara perhitungan manual dengan analisis elemen hingga. Perbedaan ini dapat dilihat disemua elemen ang anaisis. Hal ini disebabkan oleh perbedaan nilai momen inersia pada perhitungan manual dengan analisis elemen hingga. Pada perhitungan manual benda dianggap solid namun pada perhitungan elemen hingga terdapat beberapa pengurangan akibat lubang posisi spare part, sehingga nilai momen inersia perhitungan manual lebih besar. Serta beberapa pengaruh pembulatan desimal yang digunakan saat perhitungan manual.

## 4. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan analisis statik mesin *prototype Laser Cutting* dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari hasil perancangan didapatkan desain rancangan dengan spesifikasi dimensi panjang 700mm x lebar 600 mm x tinggi 1000 mm.
2. Dari hasil analisis tegangan maksimal yang terjadi pada sumbu y 0,21 MPa serta pada sumbu x 1,19 MPa..
3. Defleksi yang terjadi sebesar  $5,9 \cdot 10^{-4}$  mm pada sumbu y dan pada sumbu x sebesar  $9,68 \cdot 10^{-4}$  mm.

## 5. Daftar Pustaka

- [1] Kementerian Perindustrian Republik . 2016 . Visi dan Misi. <http://www.kemenperin.go.id/visi-misi-kementerian-perindustrian> (diakses tanggal 18 Januari 2017)
- [2] Toguan Samarya, Yenny. 2015. Aplikasi Laser Co2 Untuk Pemotongan (Cutting) Material Menggunakan Mesin Cnc (Control Numeric Computer). Jurnal Fmipa Vol 10 No 1
- [3] Republik Indonesia.1995. Undang-Undang No. 9 tahun 1995 tentang Kriteria Usaha Kecil Menengah. Lembaran Negara RI Tahun 1995,. Sekretaris Negara. Jakarta.
- [4] Hatamura, Y. and Yamamoto, Y. 1999. *The Practice of MachineDesign*. New york: Oxford University
- [5] Epsito and Thrower.R.J., 1991.*Machine Design*, New York Delmar Publisher,Inc.
- [6] Harsokoesoemo, Darmawan. 2004. *Pengantar Perancangan Teknik (Perancangan Produk) Edisi II*. Bandung: ITB.
- [7] Physic Of *Laser Cutting* termuat di <http://alumni.media.mit.edu>, diakses pada (diakses tanggal 18 Januari 2017)
- [8] Powell, John.1998. *CO<sub>2</sub> Laser Cutting second edition*. Springer-Verlag London Limited 1998
- [9] Wiratmaja, I.G.N. 2005. *Bahan Kuliah MS2214 Elemen Mesin I*. Bandung : Lab. Perancangan Mesin, Departemen Teknik Mesin ITB
- [10] Liong, The Houw dan Nainggolan. 1987. *Mechanic for Engineers: Statics and Dynamic, fourth edition*. Oleh Ferdinand P. Beer and E. Russell Johnston, Jr. Jakarta: Erlangga.
- [11] Mott, Robert L. 2009. Elemen-Elemen Mesin. Dalam Perancangan Mekanis. Yogyakarta: Penerbit Erlangga
- [12] Alchazin, Syaipul A.B. 2011. Modul Training Autodesk Inventor 2011. Bogor: Lapan Pusat Teknologi Roket Rumpin.