

**CNC LASER MARKING FOR ENGRAVING FLAT METAL**

**Yohanes Nugroho<sup>1\*</sup>, Angki Mato<sup>2</sup>, Brilyan Bagus Cahayadi<sup>3</sup>  
Jibran Teja Sukmana<sup>4</sup>, Reynardus Aldryan Putra Setyawan<sup>5</sup>, Ammar Farras Fauzan<sup>6</sup>**

<sup>1,2,3,4,5,6</sup> Teknik Mesin Industri

Jl. Mojo No. 1 Karangasem, Laweyan, Surakarta 57145

\*Email: yohanes.nugroho@atmi.ac.id

**Abstrak**

*Industri telah masuk dalam era industri 4.0 yang menuntut efisiensi dalam pengerjaan suatu produk. Perkembangan otomasi menjadi solusi untuk memenuhi tuntutan tersebut, maka dibuatlah sistem CNC yang mempermudah pekerjaan manusia serta meminimalisir human error. Mesin CNC juga mampu mengerjakan produk secara efisien, dibandingkan dengan mesin konvensional. CNC Laser Marking for Engraving Flat Metal adalah tanggapan dari perkembangan yang ada dalam dunia industri manufaktur, terutama dalam bidang manufaktur yang menggunakan laser. Mesin CNC Laser Marking ini dapat membuat penandaan pada suatu benda secara permanen serta dapat membuat desain pola yang kompleks. Laser yang digunakan adalah laser CO<sub>2</sub> dengan daya 100 watt. Mesin didesain mampu untuk menandai benda kerja dengan material Aluminium, St. 37, St. 60 dan padanannya. Hal ini tentunya lebih efektif bila dibandingkan dengan proses penandaan dengan alat konvensional. Mesin CNC laser Marking ini Memiliki dimensi 1402 x 851 x 1360 mm, dimensi maksimal benda kerja yang dapat ditandai adalah 500 x 400 x 30 mm. Sistem dikendalikan menggunakan papan kontrol pabrikan Lihuiyu M2 Nano dan dioperasikan menggunakan dongle. Semua perangkat yang dibutuhkan dari awal hingga akhir telah terintegrasi dengan mesin. RPM maksimal untuk sistem adalah 398 rpm. Hal ini tentunya lebih efektif bila dibandingkan dengan proses penandaan dengan alat konvensional.*

**Kata kunci:** Efisiensi, Laser, Penandaan

**1. PENDAHULUAN**

Pada era ini industri sudah memasuki revolusi industri 4.0 dalam segala aspek, khususnya dibidang perindustrian dan pendidikan vokasi yang semakin berkembang pesat. salah satu syarat untuk dapat bersaing di era revolusi industri 4.0 adalah dengan membuat alat atau mesin yang berbasis teknologi robotik dan sensor. Perancangan Mesin laser *marking* dibutuhkan pada dunia industri 4.0 untuk berbagai macam kebutuhan, salah satunya adalah untuk proses penandaan baik alat potong, benda kerja, alat penunjang produksi, maupun material. Tanda atau identitas yang dihasilkan oleh mesin laser dinilai efisiensi, hasil yang dihasilkan jelas, dan tahan lama serta dapat memenuhi tuntutan teknologi pendataan pada industri 4.0 yang berbasis big data dengan menggunakan *QR code*.

Proses *marking* untuk memberikan tanda *QR code* dibuat dengan berbagai media salah satunya mesin laser ini. Laser yang dapat digunakan yaitu adalah laser gas CO<sub>2</sub> dengan daya 100 watt, Laser gas CO<sub>2</sub> ini dapat menandai permukaan benda kerja dengan material *steel* dengan spesifikasi Aluminium, St. 37, dan St. 60 dan padanannya. Karena Laser CO<sub>2</sub> ini sudah disesuaikan dengan kebutuhan industri saat ini.

Melalui rancangan mesin *CNC Laser* ini membuat proses penandaan menjadi lebih efisien dan lebih efektif. Efisiensi tersebut dapat menunjang nilai produktivitas.

**2. METODOLOGI**

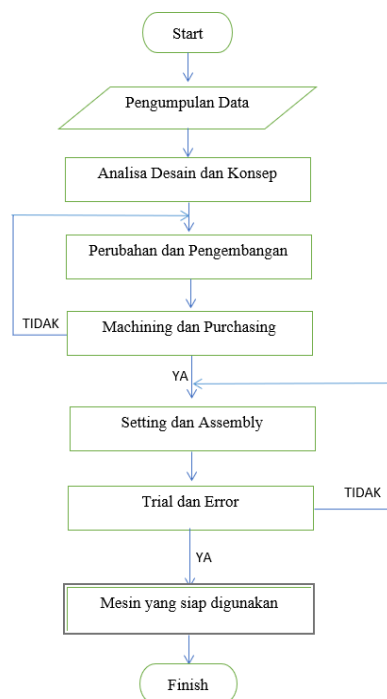
Proses perancangan dan penelitian ini memerlukan beberapa bahan dan peralatan sebagai perlengkapan dalam proses perancangan serta beberapa metode pengumpulan data dan perumusan masalah.

### 2.1. Metode Perancangan

Metode perancangan yang penulis gunakan adalah metode perancangan konseptual dengan karakteristik mesin. Hasil penilaian dari kebutuhan dan karakteristik menjadi acuan untuk mendesain rancangan menjadi morfologi desain. Setelah mendapatkan data, data yang didapat diberi bobot penilaian untuk tujuan rancangan yang mencakup semua aspek teknis dan ekonomis.

### 2.2. Proses Penelitian

Metode pengerjaan dilakukan dengan beberapa tahapan yang ditunjukkan pada *flowchart* di gambar 1.



**Gambar 1** *Flowchart* Proses penelitian

#### 2.2.1. Pengambilan Data

Metode pengambilan data dilakukan dengan beberapa cara yaitu,

##### 1. Observasi

Metode observasi ini penulis lakukan untuk mencari dan memperoleh pengetahuan dan pandangan baru tentang desain mesin yang akan dirancang serta pengembangan dari mesin yang sudah ada.

##### 2. Wawancara

Metode wawancara merupakan metode untuk mendapatkan data dengan cara berbincang secara formal dengan pihak – pihak yang dianggap mampu dan tahu tentang materi yang akan dibicarakan.

##### 3. Pustaka

Metode pustaka penulis lakukan untuk memperoleh data teoritis tentang kemungkinan penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya serta untuk mencari data – data yang diperlukan dalam proses pembuatan mesin.

#### 2.2.2. Perhitungan Teknis

Perhitungan teknis dilakukan untuk menentukan beberapa komponen mesin yang membutuhkan perhitungan seperti motor *stepper*, *hollow* untuk kerangka, dan *shaft* untuk poros penyangga serta untuk menentukan nilai kekuatan untuk beberapa komponen seperti *hollow* untuk kerangka, *plate base* area kerja, dan *shaft* untuk poros penyangga.

### 2.2.3. Analisa Desain dan Konsep

Analisa Desain dilakukan menggunakan aplikasi *SolidWorks* dengan fitur *finite element*. Analisa yang penulis lakukan adalah analisa kekuatan dari rangka, defleksi pada *plate base* area kerja, dan pada *shaft* poros penyangga serta dilakukan analisis untuk menemukan titik berat dari sistem mesin. Dan melakukan pengembangan desain yang dibuat TA 10 angkatan 50.

### 2.2.4. Setting dan Assembly

Hasil desain mesin yang sudah dimachining setelah itu dilakukan proses perakitan dan penggabungan komponen secara permanen dan tidak dapat dipisahkan kecuali dengan merusaknya. *Assembling* permanen terdiri dari *Welding*, *Soldering & Brazing*, Paku Keling dan *Adhesive Bonding*.

### 2.2.5. Mesin yang siap digunakan

Hasil dari proses assembly yang telah selesai dan mesin *CNC Laser marking* siap digunakan untuk proses penandaan.

## 3. HASIL PERANCANGAN DAN PEMBAHASAN

Perancangan *CNC Laser Marking for Engraving Flat Metal* menggunakan metode perancangan konseptual yaitu merancang komponen – komponen dalam suatu susunan yang sistematis sehingga dapat terbentuk sebuah fungsi yang dapat bekerja baik (Pahl *et al*, 2007).

### 1. Pembuatan *Requiremen List*

Berikut ini adalah beberapa spesifikasi dari sistem yang akan dirancang,

**Tabel 1 Pengembangan *Requirement List***

Geometri	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Panjang mesin maksimal 1500 mm</li> <li>• Lebar mesin maksimal 1000 mm</li> <li>• Tinggi mesin maksimal 1400 mm</li> <li>• Semua geometri memperhatikan faktor ergonomis</li> <li>• Dimensi benda kerja maksimal adalah 500 x 400 x 30 mm</li> </ul>
Kinematika	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sumbu X dan Y digerakkan menggunakan motor</li> <li>• Sumbu Z dioperasikan secara manual</li> </ul>
Material	Material yang dapat dikerjakan pada mesin ini adalah St. 37, St. 60, Aluminium.
Sinyal	Sinyal untuk mengoperasikan dikendalikan oleh software yang diaktifkan dengan <i>dongle USB</i> yang akan terhubung ke sistem perangkat lunak pada komputer yang sudah terintegrasi dengan mesin.
Produksi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desain komponen yang mudah untuk dimengerti</li> <li>• Material yang bersifat <i>support</i>, produksi dimaksimalkan menggunakan <i>3D Printing</i></li> </ul>
Perakitan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perakitan dilakukan oleh 3-4 orang.</li> <li>• Menggunakan sedikit alat bantu yang standard.</li> </ul>
Transportasi	Dapat dipindahkan.
Operasi	Mudah dioperasikan.

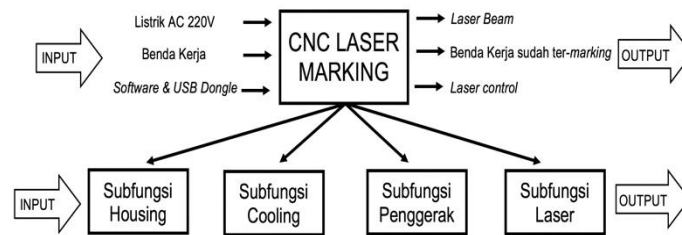
### 2. Abstraksi Identifikasi Permasalahan dari *Requirement List*

Berikut ini adalah abstraksi dari identifikasi masalah dalam perancangan mesin *CNC Laser Marking for Engraving Flat Metal*,

1. Dibutuhkan mesin *marking* menggunakan teknologi laser.
2. Mesin dikontrol menggunakan sistem *CNC*.
3. Mempertimbangkan kekuatan mesin dari material yang sudah ditentukan batasannya.
4. Mesin diharapkan mempunyai mobilitas.

### 3. Pembuatan Struktur Fungsi Keseluruhan


Struktur fungsi secara keseluruhan dari mesin *CNC Laser Marking for Flat Workpiece* ini dijabarkan dalam bentuk diagram perubahan sebagai berikut.



**Gambar 2 Diagram Perubahan Mesin *CNC Laser Marking for Engraving Flat Metal***

### 4. Membangun Subfungsi

Terdapat 4 subfungsi sesuai dengan struktur fungsi keseluruhan. Berikut ini adalah tabel varian dalam pemilihan komponen untuk subfungsi *cooling*,

No.	Fungsi	ATMI SOLO	TA 11	Subfungsi Penggerak	
				Solusi	
			1	2	3
1	Motor		Motor Servo 	Motor Sepper 	Brushless Motor 
2	Mekanisme Sumbu X		Timing Belt GT2 + Gear 	Lead Screw 	Ball Screw 
3	Mekanisme Sumbu Y		Timing Belt GT2 + Gear 	Lead Screw 	Ball Screw 
4	Slider Sumbu X		Aluminium Profile 	Linear Guide 	Linear Shaft 
5	Slider Sumbu Y		Aluminium Profile 	Linear Guide 	Linear Shaft 

**Tabel 2 Varian subfungsi *Penggerak***

### 5. Mencari Prinsip Kerja Subfungsi

Berikut ini adalah tabel penilaian prinsip kerja subfungsi *cooling*,

**Tabel 3 Penilaian prinsip kerja subfungsi**

Table 3.9: Penilaian subfungsi penggerak

ATMI SOLO	Subfungsi Penggerak	TA II
Sistem Informasi	<b>Kriteria Pemilihan</b>	<b>Kepuasan</b>
	(*) ya	(*) ya
	(-) tidak	(-) tidak
	(?) kurang informasi	(?) kurang informasi
	(0) periksa daftar kebutuhan	(0) periksa daftar kebutuhan
	<b>Menjamin kebutuhan</b>	
	Memenuhi kebutuhan	
	Memenuhi secara prinsip	
	Faktor ekonomi	
	Mendukung faktor keamanan	
Pilihan perancangan		
Lain-lain		

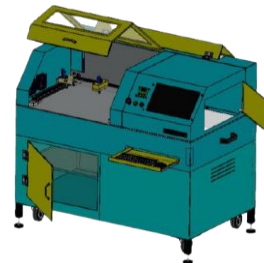
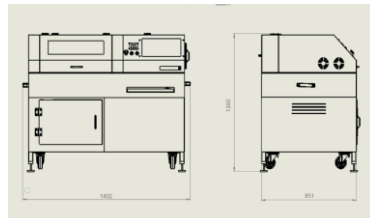
2.3	6	-	-	-	-	-	-	-	Mahal dan overpec	-
3.1	7	-	-	-	-	-	-	-	Murah dan sesuai kebutuhan	-
3.2	8	-	-	-	-	-	-	-	Mahai dan overpec	-
3.3	9	-	-	-	-	-	-	-	Mahai dan overpec	-
4.1	10	-	-	-	-	-	-	-	Murah dan sesuai kebutuhan	+
4.2	11	-	-	-	-	-	-	-	Mahai dan overpec	-
4.3	12	-	-	-	-	-	-	-	Mahai dan overpec	-
5.1	13	-	-	-	-	-	-	-	Berat dan Tidak sesuai kebutuhan	-
5.2	14	-	-	-	-	-	-	-	Berat dan Tidak Sesuai kebutuhan	-

7.1	18	-	-	-	-	-	-	-	Murah dan sesuai kebutuhan	+
7.2	19	-	-	-	-	-	-	-	Mahai dan overpec	-
7.3	20	-	-	-	-	-	-	-	Mahai dan overpec	-
8.1	21	-	-	-	-	-	-	-	Pembebanan tidak sesuai	-
8.2	22	-	-	-	-	-	-	-	Sesuai kebutuhan dan murah	+
8.3	23	-	-	-	-	-	-	-	Mahai	-
9.1	24	-	-	-	-	-	-	-	Pembebanan tidak sesuai	-
9.2	25	-	-	-	-	-	-	-	Kemudahan rendah	-
9.3	26	-	-	-	-	-	-	-	Sesuai kebutuhan	+

## 6. Membangun Konsep

Setelah melakukan tahap – tahap penelitian mulai dari pengamatan, tanya jawab, observasi, dan pengembangan pada desain maupun konsep mesin itu sendiri, maka terbentuklah desain mesin final yang dibuat sesuai dengan kebutuhan yang ada. Berikut ini adalah desain mesin yang merupakan kombinasi dari seluruh subfungsi,

## 7. Evaluasi Konsep



Berikut ini adalah tabel hasil evaluasi konsep,

**Tabel 5 Hasil evaluasi konsep**

Geometri	<ul style="list-style-type: none"> <li>Panjang mesin maksimal 1402 mm</li> <li>Lebar mesin maksimal 851 mm</li> <li>Tinggi mesin maksimal 1360 mm</li> <li>Semua geometri memperhatikan faktor ergonomis</li> <li>Dimensi benda kerja maksimal adalah 500 x 400 x 30 mm</li> </ul>	Produksi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desain komponen yang mudah untuk dimengerti</li> <li>Material yang bersifat <i>support</i>, produksi dimaksimalkan menggunakan <i>3D Printing</i></li> <li>Proses manufaktur dikerjakan menggunakan mesin CNC langsung.</li> <li>Partisi yang membutuhkan proses laser <i>cutting</i> akan disubcont ke PT. ADE</li> <li>Toleransi yang digunakan adalah toleransi <i>middle</i>.</li> </ul>
Kinematika	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sumbu X dan Y digerakkan menggunakan motor stepper.</li> <li>Sumbu Z dioperasikan secara manual</li> <li>Kepresisian <i>timing belt</i> GT2 0,05mm (Perner and Osborne, 2012)</li> </ul>		Perakitan
Material	<ul style="list-style-type: none"> <li>Material yang dapat dikerjakan pada mesin ini adalah St. 37, St. 60, Aluminium.</li> <li>Material kerangka menggunakan Hollow Sq. 40x40</li> <li>Material cover dan base benda kerja menggunakan <i>MS Plate</i>.</li> <li>Material komponen dimaksimalkan menggunakan filamen 3D printing</li> <li>Komponen purchased yang tidak ada di Indonesia akan diimport dari China melalui portal online Alibaba.com</li> </ul>	Transportasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dapat dipindahkan.</li> <li>Terdapat 4 roda untuk memudahkan mobilitas</li> <li>Terdapat 4 <i>foot adjuster</i> untuk menyesuaikan kontur lantai</li> </ul>
Sinyal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sinyal untuk mengoperasikan dikendalikan oleh software yang diaktifkan dengan <i>dongle USB</i> yang akan terhubung ke sistem perangkat lunak pada komputer yang sudah terintegrasi dengan mesin.</li> <li>Komputer juga berfungsi sebagai media desain dan kontur yang akan dimarking.</li> </ul>	Operasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistem control aplikasi menggunakan hardware Lihuiyu M2 Nano Controller.</li> <li>Software yang digunakan adalah LaserDRW 2013 dan Corel Laser 2013</li> </ul>

### 3.1. PERHITUNGAN

#### 3.1.1. Perhitungan Motor Stepper

Perhitungan kebutuhan spesifikasi motor *stepper*. Motor *stepper* memiliki rpm maksimal sebesar 1000 rpm. Pada mesin laser yang berada di pasaran dibutuhkan kecepatan *linear* sebesar 20000 mm/min atau 333,33 mm/s. dalam perhitungan konversi dari kecepatan *linear* menjadi kecepatan *angular* didapatkan dari persamaan (1) berikut,

$$Vm = V \times \left(\frac{60}{\pi \times D_{p1}}\right) \times \left(\frac{D_{p2}}{D_{p1}}\right)$$

$$Vm = 335 \times \left(\frac{60}{\pi \times 16}\right) \times \left(\frac{16}{16}\right)$$

$$Vm = 397,9 \text{ r/min}$$

Jika dilihat dari perhitungan kebutuhan kecepatan linear dari proses penandaan pada mesin laser, maka penulis dapat menggunakan motor berjenis *stepper* karena kecepatan angular yang dibutuhkan oleh sistem mesin adalah 397,9 rpm.

Menurut katalog Oriental Motor setelah menentukan jenis motor yang akan digunakan maka akan dihitung torsi tahan yang dibutuhkan untuk mesin *CNC Laser Marking for Engraving Flat Metal* ini, persamaan (2) adalah persamaan torsi yang dibutuhkan.

$$T = (T_a + T_L) \times S_f$$

$$T = (5,3629 \times 10^{-3} + 6,9689 \times 10^{-2}) \times 2$$

$$T = 0,1501 \text{ Nm}$$

Dari perhitungan yang didapat maka torsi yang dibutuhkan oleh sistem ini adalah 0,1501 Nm. Motor *stepper Nema 17 HS42* yang sesuai dengan standard Oriental Motor memiliki torsi maksimal 0,35 Nm. Jadi dari perhitungan didapatkan bahwa motor *stepper* yang digunakan adalah *Nema 17 HS42*.

### 3.1.2. Perhitungan Kekuatan Rangka

Perhitungan kekuatan rangka merupakan perhitungan untuk menentukan kekuatan rancangan dari konstruksi yang dibangun. Dalam hal ini perhitungan dilakukan untuk menentukan kekuatan rangka yang digunakan pada *housing* sistem. Berikut ini adalah persamaan untuk mengetahui kekuatan minimal yang dibutuhkan untuk rancangan konstruksi sistem,

$$I_y = \frac{H \times B^3}{12} - \frac{h \times b^3}{12}$$

$$I_y = \frac{40 \times 40^3}{12} - \frac{36 \times 36^3}{12}$$

$$I_y = 3365,333 \text{ mm}^4 \approx 73500 \text{ mm}^4$$

$$I_x = \frac{B \times H^3}{12} - \frac{b \times h^3}{12}$$

$$I_{x1} = \frac{40 \times 40^3}{12} - \frac{36 \times 36^3}{12}$$

$$I_{x1} = 73365,333 \text{ mm}^4 \approx 73500 \text{ mm}^4$$

$$I_{x2} = \frac{40 \times 40^3}{12} - \frac{36 \times 36^3}{12}$$

$$I_{x2} = 73365,333 \text{ mm}^4 \approx 73500 \text{ mm}^4$$

Berikut ini adalah hasil perhitungan kekuatan rangka aktual yang terjadi pada sistem,

$$I_y \text{ minimal} = \frac{F' \text{ tiap sisi } y \times L^3}{48 \times E \times F_k}$$

$$I_y \text{ minimal} = \frac{269,693 \times 700^3}{48 \times 210000 \times 2}$$

$$I_y \text{ minimal} = 4558,527 \text{ mm}^4$$

$I_y \text{ minimal} < I_y$  yang dipilih. Momen inersia dari *square hollow* St. 37 yang dipakai ( $I_y$ ) adalah  $73.500 \text{ mm}^4$ , jadi *frame* yang digunakan masuk dalam kategori aman.

$$I_{x1} \text{ minimal} = \frac{F' \text{ tiap sisi } x1 \times L^3}{48 \times E \times F_k}$$

$$I_{x1} \text{ minimal} = \frac{154,10 \times 1320^3}{48 \times 210000 \times 2}$$

$$I_{x1} \text{ minimal} = 17.580,61 \text{ mm}^4$$

$I_x \text{ minimal} < I_x$  yang dipilih. Momen inersia dari *square hollow* St. 37 yang dipakai ( $I_x$ ) adalah  $73.500 \text{ mm}^4$ , jadi *frame* yang digunakan masuk dalam kategori aman.

$$I_{x2} \text{ minimal} = \frac{F' \text{ tiap sisi } x2 \times L^3}{48 \times E \times F_k}$$

$$I_{x2} \text{ minimal} = \frac{107,87 \times 770^3}{48 \times 210000 \times 2}$$

$$I_{x2} \text{ minimal} = 2442.769 \text{ mm}^4$$

$I_x \text{ minimal} < I_x$  yang dipilih. Momen inersia dari *square hollow* St. 37 yang dipakai ( $I_x$ ) adalah  $73.500 \text{ mm}^4$ , jadi *frame* yang digunakan masuk dalam kategori aman.

$$I_{x2} \text{ minimal} = \frac{F' \text{ tiap sisi } x2 \times L^3}{48 \times E \times F_k}$$

$$I_{x2} \text{ minimal} = \frac{539,35 \times 1100^3}{48 \times 210000 \times 2}$$

$$I_{x2} \text{ minimal} = 35608.87 \text{ mm}^4$$

$I_x \text{ minimal} < I_x$  yang dipilih. Momen inersia dari *square hollow* St. 37 yang dipakai ( $I_x$ ) adalah  $73.500 \text{ mm}^4$ , jadi *frame* yang digunakan masuk dalam kategori aman.

### 3.1.3. Perhitungan Diameter Minimal Rod

Jumlah tumpuan pada sistem ini ada 4 karena menggunakan *rod* sebanyak 2 buah sehingga memiliki 4 tumpuan, maka gaya pembebanan akan terbagi rata ke 4 tumpuan tersebut. Setelah momen tekuk ditemukan maka perlu dilakukan perhitungan untuk menentukan diameter aman minimal *rod*.

$$d_k = \sqrt[3]{\frac{M_b}{0,1 \times \sigma_b}}$$

$$d_k = \sqrt[3]{\frac{2696,925}{0,1 \times 161,5}}$$

$$d = d_k$$

$$d = d_k = 5,507 \text{ mm}$$

Perhitungan poros yang dibutuhkan adalah poros berjenis poros penyangga dengan material *stainless steel*, sedangkan untuk data perhitungan poros yang tersedia adalah poros bermaterial baja, sehingga penulis menyetarakan dengan pendekatan jenis material yang ada dengan *material properties* dari *stainless steel*, kemudian hasil dari diameter akan dikalikan 2 untuk memperoleh nilai kekuatan yang aman serta dipilih diameter poros terdekat yang tersedia di pasar. Didapatkan nilai diameter minimal untuk material St. 37 adalah  $5,507 \text{ mm}$  sehingga nilai tersebut dikalikan 2 sehingga didapatkan nilai  $11,014 \text{ mm}$  dan dipilih diameter poros  $10 \text{ mm}$ .

### 3.1.4. Perhitungan Defleksi Working Area Base

Base dari area kerja merupakan *mild steel sheet* dengan tebal 5 mm. memiliki panjang 852 mm dan lebar 849 mm dengan panjang dan lebar yang telah ditentukan dan pembebanan yang ada diatas sheet tersebut adalah 55 kg. Menurut *Ashby* (2005) semua material yang diberi beban akan mengalami defleksi. Persamaan (10) merupakan persamaan untuk mencari nilai defleksi maksimal yang terjadi pada tengah plat yang semua sisinya memiliki tumpuan dengan pembebanan merata secara universal,

$$\Delta_{max} (at\ centre) = \frac{0,142 \times w \times a^4}{E \times t^3 \times \left(2,21 \times \left(\frac{a}{b}\right)^3 + 1\right)}$$

$$\Delta_{max} (at\ centre) = \frac{0,142 \times 745,678 \times 0,723348^4}{2,4 \times 10^8 \times 0,005^3 \times \left(2,21 \times \left(\frac{0,849}{0,852}\right)^3 + 1\right)}$$

$$\Delta_{max} (at\ centre) = 0,30326\ mm$$

Dari perhitungan dengan menggunakan persamaan (10) didapatkan bahwa defleksi yang terjadi pada base area kerja adalah 0,30326 mm. karena defleksi tidak lebih dari 0,5 mm maka pemilihan *MS Sheet* dengan tebal 5 mm masuk pada kategori aman.

### 3.1.5. Perhitungan Tegangan Tekan Pada Kaki Meja

Diketahui bahwa beban keseluruhan yang diterima oleh material yaitu 55 kg, dibutuhkan material yang mampu untuk menahan beban tersebut untuk meminimalisir tegangan yang terjadi. Maka dari itu, berikut perhitungan tegangan yang akan terjadi pada material:

Diketahui:

$i$	= Jari - jari kelembaman	(mm)
$I$	= Inersia	(mm <sup>4</sup> )
$A$	= Luas penampang	(mm <sup>2</sup> )
$\lambda$	= Kelangsingan	
$Lk$	= Panjang hollow	(mm)
$\omega$	= Tegangan tekan kayal	
$I$	= 73.500	
$\sigma D$	= 240	(N/mm <sup>2</sup> )
$\delta$	= 2	

$$I = \sqrt{\frac{i}{A}}$$

$$= \sqrt{\frac{73.500}{304}}$$

$$= 15,55\ mm.$$

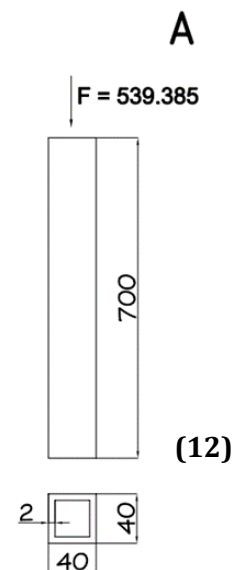
$$\lambda = \frac{Lk}{i}$$

$$= \frac{700}{15,55}$$

$$= 45,02$$

$$\omega = 1,17 \text{ (didapat dari buku strength of material hal 43.)}$$

$$\sigma D = \frac{F \cdot \omega}{A}$$



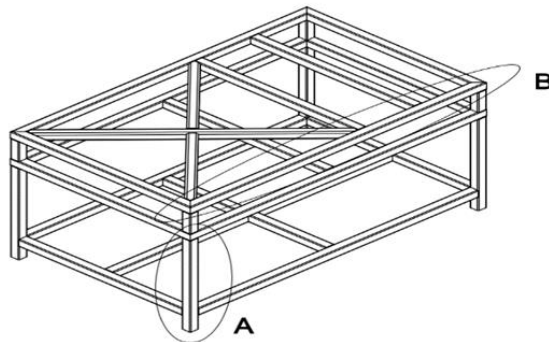
$$= \frac{539,55 \times 1,17}{304}$$

$$= 2,08 \text{ N/mm}$$

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa tegangan tekan yang bekerja ( $\sigma_{D_{\text{tekan}}}$ ) pada kaki mesin yaitu 2,08 N/mm, lebih kecil dari tegangan tekan yang diinginkan yaitu sebesar 120 N/mm<sup>2</sup>.

### 3.1.6. Perhitungan Tegangan Rangka

Diketahui bahwa beban keseluruhan yang diterima oleh material yaitu 55 kg, dibutuhkan material yang mampu untuk menahan beban tersebut untuk meminimalisir tegangan yang terjadi. Maka dari itu, berikut perhitungan tegangan yang akan terjadi pada material:



$$\sigma_b = \frac{ms}{wb} = \frac{FxL}{I}$$

Keterangan :	$\sigma_b$	= tegangan lengkung	(N/mm <sup>2</sup> )
	$ms$	= momen	(N . mm)
	$wb$	= momen tahanan pada lengkung	(mm <sup>3</sup> )
	$F$	= gaya	(N)
	$I$	= momen inersia	(mm <sup>4</sup> )
	$l$	= jarak	(mm)
	$L$	= Panjang Frame pada tiap sumbu	(mm)



$$\sigma_b = \frac{ms}{wb} = \frac{FxL}{I}$$

$$= \frac{FxL}{I}$$

$$= \frac{539,385 \times 700}{\frac{73500}{20}}$$

$$= 102,74 \text{ N/mm}^2$$

$$F = 55 \times 9,807$$

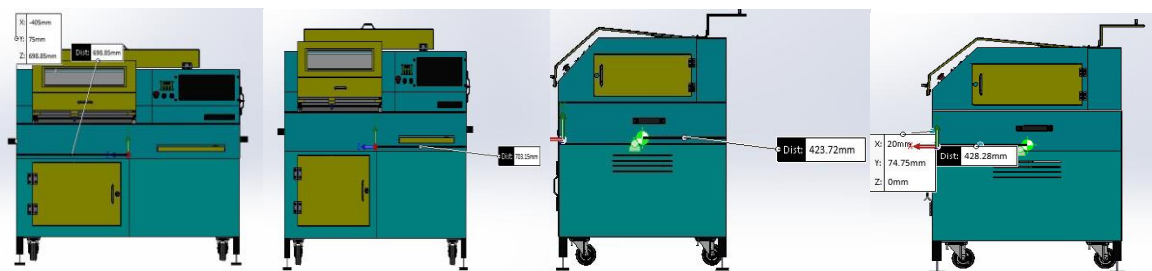
$$= \mathbf{539,385\ N}$$

$$l = \frac{40 \times 40^3}{12} - \frac{36 \times 36^3}{12}$$

$$l = \mathbf{73.365,333\ mm^4 \approx 73500\ mm^4}$$

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa material rangka dengan material St.37 aman digunakan karena hasil perhitungan tegangan bengkok lebih kecil daripada tegangan bengkok yang diijinkan ( $102,74\ \text{N/mm}^2 < 370\ \text{N/mm}^2$ ).

### 3.2 Analisa Titik Berat



Pada gambar ditunjukkan bahwa titik berat dari sistem mesin ini dari pandangan depan berada pada jarak 703,15 mm dari sisi samping kanan dan 698,85 mm dari sisi samping kiri, terdapat selisih selisih 4,3 mm. Titik berat dari sistem mesin ini dari pandangan samping berada pada jarak 393,28 mm dari sisi samping kanan dan 458,72 mm dari sisi samping kiri, terdapat selisih selisih 65,44 mm. Hal tersebut menjelaskan bahwa mesin tidak berat sebelah atau tidak memerlukan penambahan beban untuk salah satu sisinya. Karena titik berat mesin selisihnya tidak ekstrim maka konstruksi dari mesin ini masuk dalam kategori aman.

### Kesimpulan

Berdasar perancangan dan hasil analisis yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut,

1. Realisasi dari perancangan dan pengembangan sebuah mesin laser untuk *engraving flat metal*, yang memiliki dimensi panjang 1400 mm, lebar 851 mm dan tinggi 1360 mm. bersifat *moveable* sehingga dapat dipindahkan. Laser yang digunakan adalah laser berjenis CO<sub>2</sub> dengan daya 100 watt. Sistem dikendalikan dengan papan kontrol pabrikan *Lihuiyu M2 Nano* dan dioperasikan menggunakan *dongle*. Semua perangkat yang dibutuhkan terhubung dari awal hingga akhir telah terintergrasi dengan mesin.
2. Perhitungan dan analisis yang disertakan meliputi perhitungan *motor stepper*, perhitungan kekuatan rangka, perhitungan momen tekuk pada *rod*, perhitungan defleksi pada *working area base*, telah dilakukan perhitungan ekonomi dan mendapatkan total biaya gabungan Rp. **23.533.285** Analisis yang disertakan juga meliputi analisis *Titik berat pada mesin*.
3. Telah dibuat *prototype* mesin yang siap digunakan serta gambar pengembangan berupa 2D dan 3D.

### Saran dan Pengembangan

Berdasarkan perancangan yang dibuat, muncul beberapa saran dan kemungkinan untuk pengembangan mesin *CNC Laser Marking for Engraving Flat Metal* antara lain,

1. Karena tipe meja kerja mesin ini hanya untuk engraving, mungkin ada pengembangan dalam desain meja kerja agar dapat mengerjakan pekerjaan cutting selain engraving.
2. *Slider guide* dicoba untuk diganti menggunakan *Linear Guide*, dengan pertimbangan agar gerakan sumbu Y lebih akurat dan lebih kuat.
3. Menambah 1 axis lagi yaitu sumbu Z dan membuat mekanisme penggerak bagi komponen yang terdapat di axis tersebut, agar dapat menandai material yang memiliki permukaan yang tidak rata.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Feynmann, R. 1964. *Lecture on Physics*. Massachusetts : Addison-Wesley.
- LIA. 2001. *Handbook of Laser Materials Processing*. Orlando : Magnolia Publishing.
- Luxon, J., Parker, D. 1985. *Industrial Lasers and The Application*. New Jersey : Prentice-Hall.
- Aarnley, P. 2002. *Stepping Motors A Guide to Theory and Practice*. London : The Institution of Engineering and Technology.
- Luxon, J., Parker, D. 1985. *Industrial Lasers and The Application*. New Jersey : Prentice-Hall.
- Ready, J. 1997. *Industrial Application of Lasers*. San Diego : Academic Press.
- Ter-Mikirtychev, Valerii. 2014. *Fundamentals of Fiber Lasers and Fiber Amplifiers*. Switzerland : Springer Verlag
- Perneder, R. Osborne, I. 2012. *Handbook Timing Belts Principles, Calculations, Applications*. Heidelberg : Springer Verlag.
- Dumitras, D. 2012. *Nd YAG Laser*. Rijeka : InTech.
- Witteman, W. J. 1987. *The CO2 Laser*. Heidelberg : Springer Verlag.
- Thyagarajan, K. 2010. *Lasers Fundamentals and Applications*. New York : Springer International.