

CNC LASER MARKING FOR FLAT WORKPIECE

**Anthonius Christopher¹, Dwi Hartono², Felix Handoko³, Valentinus Raka Adi Putranto⁴,
Yohanes Nugroho⁵**

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknologi Manufaktur Politeknik ATMI Surakarta

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

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

Abstrak

CNC Laser Marking for Flat Workpiece adalah tanggapan dari perkembangan yang ada dalam dunia industri manufaktur, terutama dalam bidang manufaktur yang menggunakan laser. CNC Laser Marking for Flat Workpiece merupakan mesin yang didesain untuk melakukan proses penandaan pada permukaan benda kerja yang menggunakan laser dengan kedalaman penetrasi maksimal 0,1 mm. Laser yang digunakan adalah laser CO₂ dengan daya 100 watt. Mesin didesain mampu untuk menandai benda kerja dengan material Aluminium, St. 37, St. 60 dan padanannya. Mesin 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. Ketelitian dari mesin ini sebesar 0,05 mm. RPM maksimal untuk sistem adalah 398 rpm. Defleksi maksimal pada area kerja sebesar 0,30326 mm. Defleksi maksimal pada rod sebesar 0,325 mm. Perancangan mesin juga memperhatikan nilai ergonomis manusia yang telah disesuaikan dengan kondisi nyata dalam dunia manufaktur. Melalui analisa finite element didapatkan hasil bahwa kekuatan rancang dari mesin ini masuk dalam kategori aman. Keluaran perancangan adalah hasil perhitungan, analisis, dan gambar kerja yang siap direalisasi dalam dunia manufaktur.

Kata kunci: Laser, Manufaktur, Penandaan

1. PENDAHULUAN

Perancangan mesin *CNC Laser Marking for Flat Workpiece* didasarkan pada kebutuhan dunia industri yang sudah mulai memasuki Industri 4.0. 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. Industri 4.0 merupakan industri yang berbasis pada *big data* dan *cloud*. Proses manufaktur yang ada pada industri 4.0 semua terintegrasi dan terpantau dari awal hingga akhir. Pemantauan tersebut dilakukan dengan cara memindai sebuah kode unik yang disematkan pada material atau benda kerja. Kode yang disematkan pada benda kerja yang disesuaikan dengan kebutuhan industri 4.0 adalah *QR Code* atau *Quick Response Code*.

Kode QR dapat dibuat dengan berbagai media salah satunya adalah dengan media laser. Laser yang dapat digunakan untuk proses penandaan ini salah satunya adalah laser berjenis Laser gas CO₂. Laser gas CO₂ yang dapat menandai permukaan benda kerja dengan material *steel* dengan spesifikasi Aluminium, St. 37, dan St. 60 adalah laser yang memiliki daya minimal 90 watt. Laser gas CO₂ dengan daya 90 watt mampu menandai benda kerja dengan material tersebut secara langsung tanpa membutuhkan cairan tambahan, sehingga membuat proses penandaan menjadi lebih efisien dan lebih efektif.

2. METODOLOGI

Proses perancangan 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 menurut Pahl *et al* (2007). Pada perancangan konseptual menurut Pahl *et al* (2007) terdapat 8 proses untuk merancang suatu produk,

1. Pembuatan *Requiremen List*

Identifikasi dan analisa kebutuhan dan keinginan pelanggan merupakan dasar dari pembuatan produk agar sesuai dengan permintaan pelanggan. Identifikasi kebutuhan merupakan syarat utama yang wajib dipenuhi karena berkaitan langsung dengan fungsi dan tujuan utama dari produk yang akan dibuat. Sedangkan identifikasi keinginan merupakan hal pendukung yang diharapkan ada sebagai nilai tambah dan sebagai keunggulan tersendiri dari produk yang akan dibuat. Selain menyertakan daftar kebutuhan dan keinginan dari pelanggan, masalah yang muncul dari pelanggan juga dapat diikutsertakan. Daftar yang berisi tentang identifikasi kebutuhan dan keinginan tersebut adalah *requirement list* (Pahl *et al*, 2007).

2. Abstraksi Identifikasi Permasalahan Dari *Requirement List*

Requirement list dapat membantu untuk mengklarifikasi dan memfokuskan perhatian kepada masalah yang ada serta dapat memberikan informasi yang berguna untuk memberikan solusi yang optimal (Pahl *et al*, 2007). Hal utama yang dapat dilakukan pada proses ini adalah menganalisa *requirement list* yang sudah didapatkan dari konsumen.

3. Pembuatan Struktur Fungsi Keseluruhan

Struktur fungsi keseluruhan menurut Pahl *et al* (2007) dapat dijelaskan melalui sebuah diagram perubahan, dimana terdapat kotak hitam sebagai peubah dari bentuk awal menjadi bentuk akhir. Kotak hitam itu diandaikan sebagai produk atau sistem yang sedang kita rancang. Formulasi dari diagram perubahan tersebut adalah aliran energi, material, dan sinyal. Dengan memanfaatkan kotak hitam tersebut maka akan terbentuk solusi yang netral antara masukan dan keluaran

4. Membangun Subfungsi

Menurut Pahl *et al* (2007) fungsi keseluruhan yang telah ditentukan akan membutuhkan beberapa subfungsi untuk dapat membangun keseluruhan fungsi yang telah ditentukan pada proses sebelumnya. subfungsi tersebut akan saling membantu dalam mewujudkan fungsi keseluruhan dan mengubah masukan menjadi keluaran yang dibutuhkan.

5. Mencari Prinsip Kerja Subfungsi

Prinsip kerja harus ditemukan untuk berbagai subfungsi dan berbagai prinsip tersebut akan digabungkan menjadi satu menjadi sebuah struktur kerja. Struktur kerja yang terjadi tersebut akan menuntun kepada sebuah prinsip solusi dan prinsip kerja tersebut haruslah mencerminkan efek fisika yang dibutuhkan serta geometri dan karakteristik material yang dibutuhkan pula (Pahl *et al*, 2007).

6. Memilih Kombinasi Yang Sesuai

Menurut Pahl *et al* (2007) pada proses ini, beberapa struktur kerja yang telah dipilih akan dipilah dan diseleksi. Prinsip dasar dari proses ini adalah memilih kombinasi yang sesuai untuk diwujudkan, hal tersebut dapat dilakukan dengan mengisi sebuah tabel seleksi dengan beberapa parameter yang sudah ditentukan sebelumnya.

7. Membangun Konsep

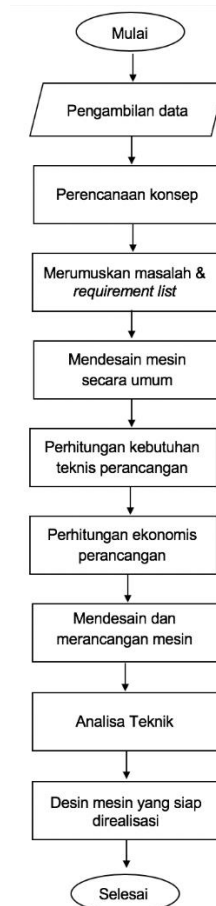
Berbagai prinsip yang sudah digabungkan pada proses sebelumnya belum sepenuhnya dapat menjadi sebuah kombinasi yang optimal untuk diwujudkan. Hal tersebut dapat terjadi karena kombinasi yang terjadi hanya berdasarkan penggabungan berbagai struktur fungsi (Pahl *et al*, 2007)

8. Evaluasi Konsep

Proses evaluasi konsep dilakukan untuk mendapatkan konsep yang sesuai dengan spesifikasi rancangan yang dibutuhkan dengan cara hasil perancangan konseptual tersebut dievaluasi kembali dan disesuaikan serta dibandingkan dengan tabel *requirement list*.

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. Perencanaan Konseptual

Metode perancangan yang penulis gunakan adalah metode perancangan konseptual menurut Pahl *et al* (2007). Tahapan untuk perancangan konseptual telah dijabarkan pada poin 2.1.

2.2.3. 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.

2.2.4. Analisa Teknik

Analisa teknik 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.

2.2.5. Desain Mesin yang Siap Direalisasi

Hasil desain mesin yang siap direalisasikan dilakukan dengan menggambar komponen – komponen yang ada di mesin secara 2D dan disesuaikan dengan standard gambar teknik untuk proses manufaktur dari Politeknik ATMI Surakarta.

3. HASIL PERANCANGAN DAN PEMBAHASAN

Perancangan *CNC Laser Marking for Flat Workpiece* dilakukan menggunakan metode perancangan konseptual menurut Pahl *et al* (2007) berikut ini adalah hasil perancangan yang penulis buat,

1. Pembuatan Requirement List

Berikut ini adalah beberapa spesifikasi dari sistem yang akan dirancang,

Tabel 1 Pengembangan Requirement List

Geometri	<ol style="list-style-type: none"> 1. Panjang mesin maksimal 1500 mm 2. Lebar mesin maksimal 1000 mm 3. Tinggi mesin maksimal 1400 mm 4. Semua geometri memperhatikan faktor ergonomis 5. Dimensi benda kerja maksimal adalah 500 x 400 x 30 mm
Kinematika	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sumbu X dan Y digerakkan menggunakan motor 2. Sumbu Z dioperasikan secara manual
Material	Material yang dapat dikerjakan pada mesin ini adalah St. 37, St. 60, Aluminium dan padanannya
Sinyal	Sinyal untuk mengoperasikan dikendalikan oleh <i>dongle USB</i> yang akan terhubung ke sistem perangkat lunak pada komputer yang sudah terintegrasi dengan mesin
Produksi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desain komponen yang sederhana 2. Material yang bersifat <i>support</i>, produksi dimaksimalkan menggunakan <i>3D Printing</i>
Perakitan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perakitan hanya membutuhkan 2 orang 2. Menggunakan sedikit alat bantu yang standard
Transportasi	Mobilitas tinggi dan dapat dipindahkan
Operasi	Mudah dioperasikan

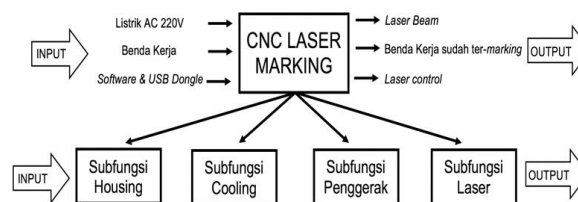
2. Abstraksi Identifikasi Permasalahan dari Requirement List

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

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

3. Pembuatan Struktur Fungsi Keseluruhan

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



Gambar 2 Diagram perubahan

4. Membangun Subfungsi

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

Tabel 2 Varian subfungsi *cooling*

NOMOR KOMPONEN	FUNGSI	Subfungsi Cooling		
		SOLUSI		
		1	2	3
1	Kompresor	Hailea ACO 318	Tiodre DC	
				
2	Water Pump	Submersible EB308	Submersible JN811	
				
3	Coolant Tank	MS Plate Tank	Plastic Bucket	Jergen
				
4	Pneumatic Tube	PU Tube	PVC Tube	Nylon Tube
				
5	Water Hose	Rubber Hose	Vinyl Hose	PU Hose
				

5. Mencari Prinsip Kerja Subfungsi

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

Tabel 3 Penilaian prinsip kerja subfungsi

Kriteria Pemilihan (+) ya (-) tidak (?) kurang informasi (*) periksa daftar kebutuhan	Subfungsi Cooling							Keputusan (+) ya (-) tidak (?) kurang informasi (*) periksa daftar kebutuhan	
	A	B	C	D	E	F	G		
Menjamin kebutuhan									
Memenuhi kebutuhan									
Memenuhi secara prinsip									
Faktor ekonomis									
Mempunyai faktor keamanan									
Pilih yang seoptimal									
Lain-lain									
1.1	+	+	+	+	+	+	+	Dapat bekerja dalam waktu lama	+
1.2	+	+	+	+	-	-	-	Keamanan rendah	-
2.1	+	+	+	+	+	+	-	Sesuai dengan kebutuhan water flow rate	+
2.2	+	+	+	-	+	+	-	Mahal dan overस्पेс	-
3.1	+	+	+	+	+	+	-	Sesuai kebutuhan	+
3.2	+	+	+	+	-	-	-	Keamanan rendah	-
3.3	-	+	+	+	-	-	-	Akses masuk kecil	-
4.1	+	+	+	+	+	+	-	Sesuai kebutuhan	+
4.2	+	+	+	+	+	-	-	Tidak sesuai kebutuhan	-
4.3	+	+	+	+	+	-	-	Mahal dan tidak sesuai	-
5.1	+	+	+	-	+	-	-	Mahal dan tidak sesuai kebutuhan	-
5.2	+	+	+	+	+	+	+	Murah dan sesuai kebutuhan	+
5.3	+	+	+	-	+	-	-	Mahal dan tidak sesuai kebutuhan	-

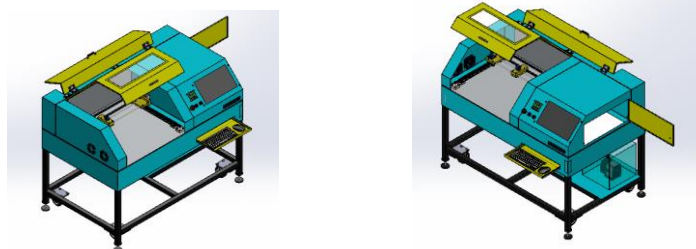
6. Memilih Kombinasi

Berikut ini adalah tabel kombinasi dari subfungsi *cooling*,

Tabel 4 Hasil kombinasi subfungsi *cooling*

No	Fungsi	Solusi	Keputusan	Keterangan
1	Kompresor	Hailea ACO 318	Purchased	
2	Pompa Air	Submersible EB308	Purchased	
3	Coolant Tank	MS Plate Tank	Machining	Subcount
4	Pneumatic Tube	PU Tube	Purchased	
5	Water Hose	Vynil Hose	Purchased	

7. Membangun Konsep



Gambar 3 Hasil membangun konsep

8. Evaluasi Konsep

Berikut ini adalah tabel hasil evaluasi konsep,

Tabel 5 Hasil evaluasi konsep

Geometri	<ol style="list-style-type: none"> 1. Panjang mesin 1402 mm 2. Lebar mesin 851 mm 3. Tinggi mesin 1360 mm 4. Semua geometri sudah memperhatikan faktor ergonomis 5. Dimensi benda kerja maksimal adalah 500 x 400 x 30 mm 	Sinyal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sinyal untuk mengoperasikan dikendalikan oleh <i>dongle USB</i> yang akan terhubung ke sistem software 2. Komputer yang sudah terintegrasi dengan mesin 3. Komputer juga berfungsi sebagai media desain dari kontur yang akan dimarking
Kinematika	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sumbu X dan Y digerakkan menggunakan motor stepper 2. Sumbu Z dioperasikan secara manual 3. Kepresisian timing belt GT2 0,05 mm (Pemedar and Osborne, 2012) 	Produksi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desain komponen yang sederhana 2. Material yang bersifat <i>support</i> produksi dimaksimalkan menggunakan <i>3D Printing</i> 3. Proses manufaktur dikerjakan menggunakan mesin CNC 4. Partisi yang membutuhkan proses <i>laser cutting</i> akan di subcount ke PT ADE 5. Toleransi yang digunakan adalah toleransi <i>middle</i>
Material	<ol style="list-style-type: none"> 1. Material yang dapat dikerjakan pada mesin ini adalah St. 37, St. 60, Aluminium dan padanannya 2. Material Kerangka menggunakan Hollow Sq. 40 x 40 mm 3. Material cover dan base benda kerja menggunakan MS Plate 4. Material komponen dimaksimalkan menggunakan filament 3D printing 5. Komponen purchased yang tidak ada di Indonesia akan diimpor dari China melalui portal online alibaba 	Perakitan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perakitan hanya membutuhkan 2 orang 2. Menggunakan sedikit alat bantu yang standar berupa mesin welding, hexagon spanner, dan allen key 3. Proses assembly menggunakan sistem welding dan bolts&nuts
		Transportasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mobilitas tinggi dan dapat dipindahkan 2. Terdapat 4 roda untuk memudahkan mobilitas 3. Terdapat 4 foot adjuster untuk menyesuaikan kontur lantai
		Operasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistem kontrol operasi menggunakan hardware Lihuiyu M2 Nano Laser Control 2. Software yang digunakan adalah LaserDRW 2013 dan Corel Laser 2013

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,

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

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

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

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 Flat Workpiece* ini, persamaan (2) adalah persamaan torsi yang dibutuhkan.

$$T = (T_a + T_L) \times S_f \quad (2)$$

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

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

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,

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$I_{y \text{ minimal}} = \frac{F' \text{ tiap sisi } y \times L^3}{48 \times E \times F_k} \quad (5)$$

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

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

$I_{y \text{ minimal}} < I_y$ yang dipilih. Momen inersia dari *square hollow* St. 37 yang dipakai (I_y) adalah 73.500 mm⁴, jadi *frame* yang digunakan masuk dalam kategori aman.

$$I_{x1 \text{ minimal}} = \frac{F' \text{ tiap sisi } x1 \times L^3}{48 \times E \times F_k} \quad (6)$$

$$I_{x1 \text{ minimal}} = \frac{179,975 \times 1320^3}{48 \times 210000 \times 2}$$

$$I_{x1 \text{ minimal}} = 20512,041 \text{ mm}^4$$

$I_{x \text{ minimal}} < I_x$ yang dipilih. Momen inersia dari *square hollow* St. 37 yang dipakai (I_x) adalah 73.500 mm⁴, jadi *frame* yang digunakan masuk dalam kategori aman.

$$I_{x2 \text{ minimal}} = \frac{F' \text{ tiap sisi } x2 \times L^3}{48 \times E \times F_k} \quad (7)$$

$$I_{x2 \text{ minimal}} = \frac{98,07 \times 770^3}{48 \times 210000 \times 2}$$

$$I_{x2 \text{ minimal}} = 2200,843 \text{ mm}^4$$

I_x minimal < I_x yang dipilih. Momen inersia dari *square hollow* St. 37 yang dipakai (I_x) adalah 73.500 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*.

$$d_k = \sqrt[3]{\frac{M_b}{0,1 \times \sigma_b}} \quad (8)$$

$$d_k = \sqrt[3]{\frac{2696,925}{0,1 \times 161,5}} \quad (9)$$

$$d = d_k$$

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

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 mm sehingga nilai tersebut dikalikan 2 sehingga didapatkan nilai 11,014 mm dan dipilih diameter poros 10 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,

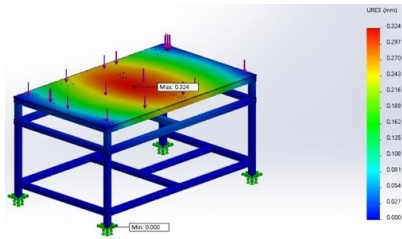
$$\Delta_{max} \text{ (at centre)} = \frac{0,142 \times w \times a^4}{E \times t^3 \times \left(2,21 \times \left(\frac{a}{b}\right)^3 + 1\right)} \quad (10)$$

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

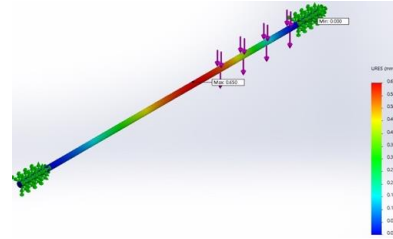
$$\Delta_{max} \text{ (at centre)} = 0,30326 \text{ mm}$$

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.

3.2 Analisa Finite Element



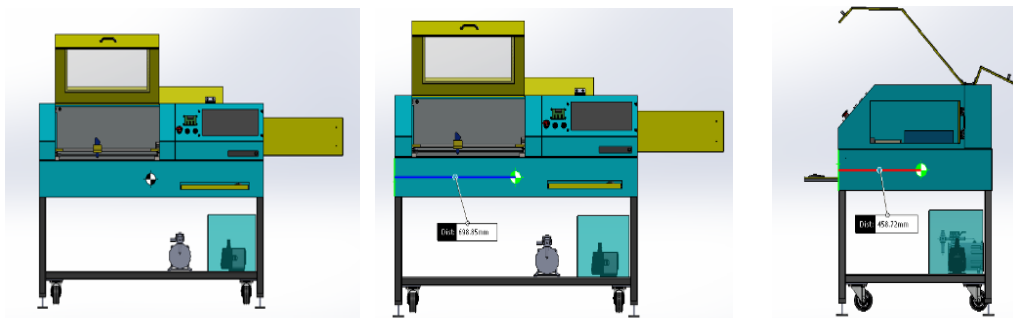
Gambar 4 Analisa Defleksi Base Area Kerja



Gambar 5 Analisa Defleksi Rod

Gambar 2 menjelaskan defleksi maksimal yang terjadi menurut analisis adalah 0,324 mm, jika dibandingkan dengan perhitungan yang telah dilakukan maka hasilnya adalah sesuai karena pada perhitungan hasilnya adalah 0,302 mm. Sistem ini masuk pada kategori aman karena defleksi tidak melebihi 0,5 mm.

Pada gambar 3 ditunjukkan bahwa defleksi maksimal yang terjadi pada *rod* pada bagian tengah batang. Defleksi maksimal yang terjadi sesuai dengan analisis yang dilakukan adalah 0,65 mm, analisis tersebut dilakukan pada satu batang *rod* saja, sedangkan pada sistem penggerak untuk sumbu Y penulis menggunakan 2 batang *rod* untuk menahan beban yang diberikan oleh sistem *gantry* tengah. Hal tersebut menyebabkan nilai defleksi terbagi menjadi dua yaitu 0,325 mm pada tiap batangnya. Defleksi konstan dapat terjadi jika pembebanan yang diberikan adalah pembebanan statis, sedangkan pada sistem ini pembebanannya adalah pembebanan dinamis dimana *rod* akan digunakan sebagai *slider* dari sistem penggerak yang berarti beban tersebut akan selalu bergerak dan tidak menetap pada suatu titik tertentu. Defleksi maksimal yang terjadi pada sistem adalah 0,325 mm, karena defleksi kurang dari 0,5 mm maka *rod* ini masuk dalam kategori aman.



Gambar 6. Analisa Titik Berat Sistem

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.

4. KESIMPULAN

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

1. Perancangan sebuah alat penanda berteknologi laser dengan menggunakan sistem CNC (*Computer Numerical Control*) berhasil dibuat. Mesin bersifat *portable* sehingga mudah dipindahkan. Laser yang digunakan adalah laser berjenis CO2 dengan daya 100 watt. Mesin 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. Ketelitian dari mesin ini sebesar 0,05 mm. RPM maksimal untuk sistem adalah 398 rpm. Defleksi maksimal pada area kerja sebesar 0,30326 mm. Defleksi maksimal pada rod sebesar 0,325 mm
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. 22.535.785,00 Analisis yang disertakan juga meliputi analisis *finite element* untuk kerangka, analisis *finite element* untuk *rod* dan analisis titik berat sistem secara keseluruhan.
 3. Telah dibuat rancangan mesin yang siap diproduksi berupa gambar 2D untuk proses manufaktur dan *production sheet* untuk urutan proses pengerjaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Acarney, P. 2002. *Stepping Motors A Guide to Theory and Practice*. London : The Institution of Engineering and Technology.
- Ashby, M., 2005. *Material Selection in Mechanical Design*. Massachusetts : Butterworth-Heinemann
- Bartodziej, C. 2017. *The Concept Industry 4.0 An Empirical Analysis of Technologies and Applications in Production Logistics*. Weisbaden : Springer Gabler
- Bassi, L. (2017). Industry 4.0: hope, hype or revolution?. *IEEE 3rd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry*.
<https://doi.org/10.1109/RTSI.2017.8065927>
- Feynmann, R. 1964. *Lecture on Physics*. Massachusetts : Addison-Wesley.
- Hecht, J. 1999. *The Laser Guide Book*. New York : McGraw-Hill.
- Kadir, B. A., et.al. (2019). Current research and future perspectives on human factors and ergonomics in Industry 4.0. *Computers & Industrial Engineering*. 137.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106004>
- LIA. 2001. *Handbook of Laser Materials Processing*. Orlando : Magnolia Publishing.
- Luxon, J., Parker, D. 1985. *Industrial Lasers and The Application*. New Jersey : Prentice-Hall.
- Pahl, G., et.al. 2007. *Engineering Design A Systematic Approach*. London : Springer Verlag.
- Perneder, R. Osborne, I. 2012. *Handbook Timing Belts Principles, Calculations, Applications*. Heidelberg : Springer Verlag.
- Ready, J. 1997. *Industrial Application of Lasers*. San Diego : Academic Press.
- Rojko, A. (2017). Industry 4.0 Concept: Background and Overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*. 11. <https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072>
- Tarjan, L., et.al. (2014). A readability analysis for QR code application in a traceability system. *Computers and Electronics in Agriculture*. 109. 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.08.015>
- Thyagarajan, K. 2010. *Lasers Fundamentals and Applications*. New York : Springer International.
- Weber, M. 2001. *Handbook of Lasers*. California : CRC Press.
- Witteman, W. J. 1987. *The CO2 Laser*. Heidelberg : Springer Verlag.