

PERANCANGAN MESIN CNC LASER UNTUK Pengerjaan PIPA ACRYLIC

**Indra Dwi Kurniawan^{1*}, Johanes Kristo Armando², Louis I Made Gunnardi Etsa³,
Vincentius Timor Hardianto⁴, Bayu Prabandono⁵**

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Mesin Industri, Politeknik ATMI Surakarta

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

*E-mail: bayu.prabandono@atmi.ac.id

Abstrak

Mesin CNC laser untuk pengerjaan pipa acrylic dirancang untuk menambah wawasan tentang teknologi dari CNC laser yang belum diketahui banyak orang. Fungsi lain dari mesin CNC laser untuk pipa yaitu membantu mengerjakan material pipa acrylic lebih efisien. Proses perancangan mesin CNC laser untuk pipa acrylic menggunakan metode survei kebutuhan customer dan perhitungan. Terdapat kriteria penilaian dari matriks kebutuhan customer terhadap engineering characteristic dari mesin untuk menyesuaikan prioritas utama dalam perancangan mesin. Perhitungan digunakan dalam menentukan komponen controller dan transmisi untuk gerakan pada setiap sumbu. Perhitungan yang sesuai akan mempengaruhi cara kerja mesin tanpa overspecification ataupun gagal beroperasi. Hasil perancangan menghasilkan konsep perancangan untuk memotong material plastik acrylic menggunakan media pemotongan sinar laser daya 40 Watt, dimensi mesin 1500 mm x 600 mm x 700 mm dan dimensi material acrylic yang di kerjakan 500 mm x Ø 2 inci. Media pengontrol menggunakan smoothieboard. Komponen penggerak mesin terdiri dari microdriver dan motor stepper sebagai sumber penggerak dari setiap axis. Transmisi menggunakan timing belt, timing pulley, dan ballscrew. Mesin dilengkapi pendingin rakitan untuk menjaga stabilitas suhu tabung laser. Mesin ini membutuhkan konsumsi daya sebesar 900 watt untuk mengerakkan seluruh komponen yang dirancang pada mesin. Ketelitian pengerjaan mesin mencapai 0,5 mm dengan resolusi motor 1.8° dan maksimal kecepatan mesin 0,2 m/s.

Kata kunci: Ketelitian, laser, acrylic, efisien

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi meningkat pesat memberikan pengaruh signifikan pada perkembangan industri. Peningkatan teknologi dalam bidang otomasi permesinan menjadi kebutuhan para pelaku industri manufaktur. Perkembangan teknologi, khususnya dalam bidang otomasi permesinan memberikan kemudahan dalam proses produksi terutama pada produksi massal. Kemudahan dalam proses produksi masal menjadi prioritas utama dalam industri. CNC (Computer Numerical Control) menjadi suatu sistem otomasi untuk memenuhi kebutuhan produksi masal.

CNC melalui mesin-mesin perkakas berkontribusi dalam peningkatan pendapatan disektor ekonomi kreatif. Barang produksi acrylic banyak diminati untuk pembuatan furniture rumah tangga dan aksesoris pada usaha menengah. Mesin CNC mampu mengerjakan berbagai bentuk material dan dikerjakan lebih efisien pada mesin CNC yang sesuai. Seperti pada material pipa acrylic yang mampu dikerjakan pada mesin CNC laser, karena laser mampu memotong material secara konstan dan stabil sehingga hasil yang diperoleh lebih baik.

Dikalangan industri, mesin CNC laser untuk pengerjaan pipa acrylic belum banyak ditemui. Sehingga banyak orang belum mengetahui teknologi dari mesin CNC laser. Alasan lain yaitu dipengaruhi oleh harga yang relatif tinggi.

Melalui rancangan CNC laser untuk pipa acrylic, diharapkan menjadi solusi atas masalah tersebut. Mesin CNC laser untuk pengerjaan pipa acrylic dibuat dengan pemilihan jenis komponen dengan harga terjangkau dan memiliki manfaat bagi kebutuhan industri. Mesin CNC laser ini mampu memotong material pipa acrylic yang berbentuk silindris dengan

pemotongan sederhana ataupun kompleks, sehingga efisiensi pengerjaan produk pipa bisa dicapai. Efisiensi tersebut akan menunjang nilai produktivitas.

2. METODOLOGI

Proses penelitian ini memerlukan *software* dan fitur-fiturnya sebagai perlengkapan dalam proses perancangan serta beberapa tahapan yang harus dikerjakan seperti pemilihan material dan pengujian kekuatan.

2.1. Metode Perancangan

Metode perancangan digunakan untuk mencari titik temu antara kebutuhan customer dengan karakteristik mesin. Mengidentifikasi kebutuhan customer untuk melihat kepentingan dari setiap permintaan. Hasil penilaian dari kebutuhan dan karakteristik menjadi acuan untuk mendesain rancangan menjadi beberapa varian morfologi desain. Data kualitatif dari varian diubah menjadi data kuantitatif yang kemudian diberi bobot penilaian untuk tujuan rancangan yang telah mencakup semua aspek teknis dan ekonomis.

2.2. Proses Perancangan

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



Gambar 1. Flowchart Proses Perancangan

2.2.1. Pembuatan Requirement List

Identifikasi kebutuhan produk yang dibutuhkan customer merupakan syarat terciptanya mesin yang sesuai dengan pasar. Rancangan mesin didasari oleh permintaan customer, memuat spesifikasi teknis dan tingkat kepentingan Kebutuhan mesin. Kapasitas pengerjaan laser untuk memproduksi benda kerja dengan hasil yang maksimal, Peningkatan mutu dan inovasi terhadap pengolahan acrylic menjadi perminatan tinggi disegment aksesoris maupun furniture.

2.2.2. Penentuan Karakteristik Mesin

Karakteristik teknis berisi informasi tentang parameter teknis pada mesin yang akan dirancang untuk menjawab permintaan dari *customer*. Karakteristik teknis memiliki batasan ukur tertentu yang dapat diperhitungkan, dan berpengaruh secara langsung terhadap lebih dari satu kebutuhan *customer*.

2.2.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data didapatkan langsung dengan *customer*, sehingga berbagai data yang ada dapat digunakan dalam penyusunan batasan masalah dan identifikasi masalah. Selain dengan *customer*, data penelitian didapatkan dari jurnal penelitian sebelumnya dan data pendukung dari kajian ilmiah melalui internet. Parameter yang telah didapat dari mesin laser

untuk mengerjakan material plastik berhubungan dengan kecepatan pemotongan, tinggi jarak terhadap benda kerja, dan daya yang digunakan untuk memotong.

2.2.4. Perancangan Konsep Mesin

Perancangan dilakukan saat pengumpulan data dari matriks kebutuhan antara requirement list dan karakteristik mesin telah terlaksana. Konsep ini mengandung kajian dari pemilihan material dan tipe komponen. Terdapat satu alur refrensi dari hitungan untuk membuat beberapa varian konsep desain. Mesin akan dipertimbangan fungsi dan kekuatannya melalui konsep rancangan ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan konsep mesin CNC laser ini dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu pembuatan desain morfologi, deskripsi konsep, kriteria pembobotan, kriteria penilaian, dan penilaian beberapa konsep untuk mendapatkan konsep terbaik yang mencakup semua aspek kebutuhan customer.

3.1. Perhitungan Komponen

Penentuan komponen diperhitungkan melalui beberapa langkah, kemudian menyamakan hasil hitungan dengan katalog produk yang banyak tersebar di pasaran. Hasil hitungan ini akan mendapatkan spesifikasi produk yang sesuai dengan beban dan wilayah kerja. Komponen mekanik dan elektrik mempunyai hubungan erat dalam pergerakan mesin. Keduanya saling berhubungan untuk melakukan pengerjaan benda sesuai permintaan atau kebutuhan dari customer. Perhitungan komponen akan menentukan akurasi dan tingkat ketelitian pengerjaan benda.

3.1.1 Perhitungan Motor Stepper

Data per sumbu mesin digunakan untuk mencari spesifikasi dari motor *stepper*. Langkah perhitungan sampai pada tahap pencarian nilai torsi, dan disesuaikan dengan tabel katalog untuk mencari jenis motor yang diperlukan. Dalam perhitungan didapatkan juga tipe, *pitch*, dan lebar sabuk. Perhitungan untuk mendapatkan jenis motor pada ke-4 sumbu.

3.1.1.1 Sumbu X

$$T_m = (T_l + T_a) \times \text{Angka keamanan}$$

$$T_m = (0.496 \text{ Nm} + 0.045 \text{ Nm}) \times 2$$

$$T_m = 1,082 \text{ Nm}$$

Maka dipilih *type motor stepper* Nema 23 dengan torsi 1,24 Nm sesuai tabel katalog motor *stepper*. Kecepatan motor mencapai 134 rpm.

Dengan data pada sumbu x, spesifikasi timing belt didapatkan melalui rumus berikut

$$T_{peak} = T \times \text{Service Factor}$$

$$T_{peak} = 1,082 \text{ Nm} \times 1,75$$

$$T_{peak} = 1.894 \text{ Nm}$$

Dari perhitungan dan tabel didapatkan lebar sabuk yang dibutuhkan yaitu 9 mm untuk *type* sabuk GT 2 *pitch* 3 mm.

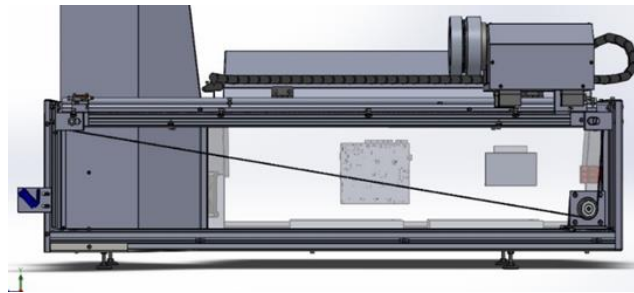
Ketelitian 0,5 mm tercapai dengan metode *Microstepping* dengan *type Driver Motor* TB6600. Pergerakan secara *Fullstepping* dengan angka *Microstepping* 1.

$$\text{Step/mm} = \frac{\text{Driver Microstepping} \times \text{Stepper Revolusi}}{\text{Jumlah gigi Pulley} \times \text{Pitch Pulley}}$$

$$\text{Step/mm} = \frac{1 \times 200 \text{ step}}{30 \text{ gigi} \times 3 \text{ mm}} = 2,22 \text{ Step/mm}$$

$$1 \text{ Step} = 0,45 \text{ mm}$$

3.1.1.2 Sumbu Y



Gambar 1 Sumbu X

$$T_m = (T_l + T_a) \times \text{Angka keamanan}$$

$$T_m = (0.198 \text{ Nm} + 0.029 \text{ Nm}) \times 2$$

$$T_m = 0,455 \text{ Nm}$$

Maka dipilih *type motor stepper* Nema 17 dengan torsi 0.65 Nm sesuai tabel katalog motor *stepper*. Kecepatan motor mencapai 200 rpm.

Dengan data pada sumbu y, spesifikasi timing belt didapatkan melalui rumus berikut.

$$T_{peak} = T \times \text{Service Factor}$$

$$T_{peak} = 0,455 \text{ Nm} \times 1,75$$

$$T_{peak} = 0,7962 \text{ Nm}$$

Dari perhitungan dan tabel didapatkan lebar sabuk minimal yang dibutuhkan yaitu 6 mm untuk type sabuk GT 2 pitch 3 mm.

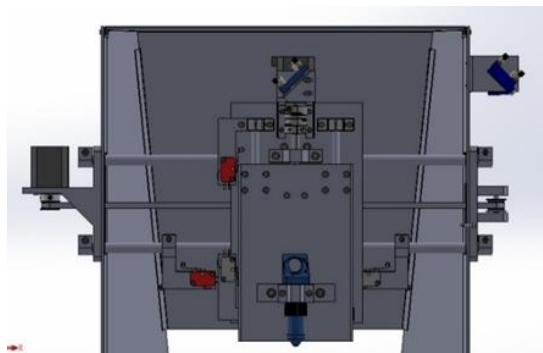
Ketelitian 0,5 mm tercapai dengan metode Microstepping dengan type Driver Motor A5984. Pergerakan secara Fullstepping dengan angka Microstepping 1.

$$\text{Step/mm} = \frac{\text{Driver Microstepping} \times \text{Step per Revolusi}}{\text{Jumlah gigi Pulley} \times \text{Pitch Pulley}}$$

$$\text{Step/mm} = \frac{1 \times 200 \text{ step}}{20 \text{ gigi} \times 3 \text{ mm}} = 3,33 \text{ Step/mm}$$

$$1 \text{ Step} = 0,3 \text{ mm}$$

3.1.1.3 Sumbu Z



Gambar 2 Sumbu Y

$$T_m = T_l \times \text{Angka keamanan}$$

$$T_m = 0,0096 \text{ Nm} \times 2$$

$$T_m = 0,0192 \text{ Nm}$$

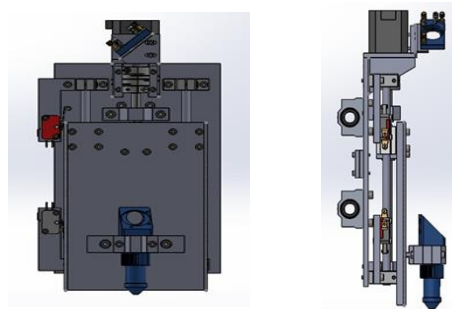
Maka dipilih *type motor stepper* Nema 17 dengan torsi 0.52 Nm sesuai tabel katalog motor *stepper*. Kecepatan motor mencapai 480 rpm.

Ketelitian 0,5 mm di capai dengan memilih transmisi *Ballscrew* dan metode *Microstepping* dengan type Driver A5984, dengan pergerakan *axis full stepping*.

$$\text{Step/mm} = \frac{1}{P_b} \times \frac{1}{\text{Driver Microstep}} \times \text{step per revolution}$$

$$\text{Step/mm} = \frac{1}{2,5 \text{ mm}} \times \frac{1}{1} \times 200 \text{ step} = 80 \text{ Step/mm}$$

$$1 \text{ step} = 0,0125 \text{ mm}$$



Gambar 3 Sumbu Z

3.1.1.4 Sumbu A

$$T_m = (T_l + T_a) \times \text{angka keamanan}$$

$$= (0,12 \text{ Nm} + 0,0000985) \times 2$$

$$= 0,24 \text{ Nm}$$

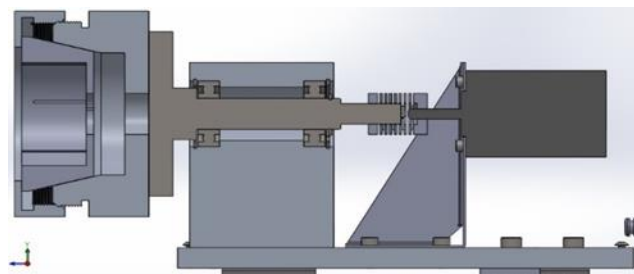
Maka dipilih *type motor stepper* Nema 17 dengan torsi 0,52 Nm sesuai tabel katalog motor *stepper*.

Ketelitian di 0,5 mm di dapatkan dengan metode *microstepping* dengan type Driver A5984 dengan pergerakan Half Step dan faktor *Microstepping* 2

$$\text{Step/mm} = \frac{\text{Step per revolution} \times \text{Driver Microstepping}}{\pi \times D_r}$$

$$\text{Step/mm} = \frac{200 \text{ Step} \times 2}{\pi \times 51 \text{ mm}} = 2,49 \text{ Step/mm}$$

$$1 \text{ Step} = 0,4 \text{ mm}$$



Gambar 4 Sumbu A

3.1.2 Perhitungan Poros

Poros dalam rancangan berfungsi sebagai penyangga dan transmisi. Ukuran poros ditentukan berdasarkan beban dan gaya yang diterima, karena berpengaruh terhadap kekuatan konstruksi.

3.1.2.1 Sumbu Y

Material pada poros sumbu y menggunakan StSt 304 dengan $\sigma_b = 520 - 720 \text{ N/mm}^2$. Kekasaran poros mencapai N6 untuk mendapatkan hasil $B1 = 0,95$ dan $B2 = 1$. Memiliki $Bk = 1$, karena tidak ada efek lekuk.

$$d_k = \sqrt[3]{\frac{Mb}{0,1 \times \sigma_b}} = \sqrt[3]{\frac{1840b \frac{\text{N}}{\text{mm}}}{0,1 \times 178,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}}}} = 4,687 \text{ mm}$$

$d_k = d = 4,687 \text{ mm}$, karena tidak ada efek lekuk.

Dipilih poros ukuran $\varnothing 12 \text{ mm}$ untuk *safety* faktor 1,5 dan *service factor* 1,5

3.1.2.2 Sumbu A

Material pada poros sumbu a menggunakan St 37 dengan $\sigma_b = 370 - 450 \text{ N/mm}^2$. Kekasaran poros mencapai N6 untuk mendapatkan hasil $B1 = 0,95$ dan $B2 = 1$. Memiliki $Bk = 2$.

$$d_k = \sqrt[3]{\frac{Mv}{0,1 \times \sigma_b}} = \sqrt[3]{\frac{446,71 \text{ Nmm}}{0,1 \times 47,5 \text{ N/mm}^2}} = 4,54 \text{ mm}$$

$d_k = d = 15 \text{ mm}$ disesuaikan $\varnothing$ lubang *bearing* standar, lubang *bearing coupling*, faktor estetika serta *service factor* 1,75 dan *safety factor* 1,5.

3.1.2.3 Sumbu Z

Material pada poros sumbu z menggunakan StSt 304 dengan $\sigma_b = 520 - 720 \text{ N/mm}^2$. Kekasaran poros mencapai N6 untuk mendapatkan hasil $B1 = 0,95$ dan $B2 = 1$. Memiliki $Bk = 1$, karena tidak ada efek lekuk.

$$d_k = \sqrt[3]{\frac{Mb}{0,1 \times \sigma_b}} = \sqrt[3]{\frac{679,83 \text{ N/mm}}{0,1 \times 178,6 \text{ N/mm}^2}} = 3,4 \text{ mm}$$

$d_k = d = 8 \text{ mm}$ karena tidak ada efek lekuk, namun di kalikan angka keamanan 2. Perhitungan disumbu z untuk menentukan ukuran diameter pada kedua rod.

3.1.3 Perhitungan Ballscrew Sumbu Z

Poros dalam rancangan ballscrew sumbu z berfungsi sebagai transmisi. Ukuran poros ditentukan berdasarkan beban dan gaya yang diterima, karena berpengaruh terhadap kekuatan konstruksi menggerakkan laser head.

$$d_k = \sqrt[3]{\frac{Mv}{0,1 \times \sigma_b}} = \sqrt[3]{\frac{1360 \text{ Nmm}}{0,1 \times 543 \text{ N/mm}^2}} = 2,93 \text{ mm}$$

$d_k = d = 5,85 \text{ mm}$, karena tidak ada efek lekuk, namun di kalikan angka keamanan 2

3.1.4 Perhitungan Bearing

Bearing akan mengalami gesekan dengan *part* mekanik lainnya. Gesekan mengakibatkan kelelahan pada bagian yang saling bersinggungan dan berpengaruh ke umur pakai dari *bearing*. Perhitungan digunakan untuk mencari umur pakai dan kesesuaian dengan poros yang bersangkutan.

3.1.4.1 Ball Bearing

$$\frac{C}{P} = \sqrt[3]{\frac{Lh \times n \times 60}{10^6}}$$

$$\frac{C}{P} = \sqrt[3]{\frac{15000 \text{ jam} \times 30 \text{ rpm} \times 60}{10^6}}$$

$$\frac{C}{P} = 3$$

$$C = P \times 3$$

$$C = 0,059 \text{ KN} \times 3$$

$$C = 0,18 \text{ KN}$$

Lihat tabel TJ 1 untuk menentukan dimensi, maka didapatkan *type bearing* 6002

$$D = 32 \text{ mm}$$

$$D = 15 \text{ mm}$$

$$B = 9 \text{ mm}$$

Lihat tabel TJ .4

Jenis pemakaian = mesin perkakas

Fv = 1,5 , untuk lingkungan kerja normal / bersih dan angka putaran rendah. Daerah pakai = B , untuk lingkungan kerja bersih dan normal

Lihat diagram Fv – Lv

Dapat diambil data bahwa Lv sekitar 14000 jam – 23000 jam

3.1.4.2 Linear Bearing

3.1.4.2.1 Perhitungan Umur pakai Linear Guide Bushing Sumbu X

Penentuan jenis *bearing* berdasarkan diameter *shaft guide rail* dengan hasil SBR 12 UU.

Umur pakai SBR 12 UU

$$L = \left(\frac{f_h \times f_t \times f_c}{f_w} \times \frac{c}{p} \right)^3 \times 50$$

$$L = \left(\frac{0,09 \times 1 \times 0,81}{1} \times \frac{4118,79 \text{ N}}{78,48 \text{ N}} \right)^3 \times 50$$

$$L = 2800,17 \text{ Km}$$

$$L_h = \frac{L \times 10^3}{2 \times l_s \times n_1 \times 60} = \frac{2800,17 \text{ km} \times 10^3}{2 \times 1 \times 0,2 \text{ m/s}^2 \times 60}$$

$$L_h = 116674 \text{ jam}$$

3.1.4.2.2 Perhitungan Umur Pakai Linear Guide Bushing Sumbu Y

Penentuan jenis *bearing* berdasarkan diameter *shaft guide rail* dengan hasil SCS 12 UU.

Umur pakai SCS 12 UU

$$L = \left(\frac{f_h \times f_t \times f_c}{f_w} \times \frac{c}{p} \right)^3 \times 50$$

$$L = \left(\frac{0,09 \times 1 \times 0,81}{1} \times \frac{5003 \text{ N}}{47,09 \text{ N}} \right)^3 \times 50$$

$$L = 23230,47 \text{ Km}$$

$$L_h = \frac{L \times 10^3}{2 \times l_s \times n_1 \times 60}$$

$$L_h = \frac{23230,47 \text{ km} \times 10^3}{2 \times 0,5 \text{ m} \times 0,2 \text{ m/s}^2 \times 60}$$

$$Lh = 1935872 \text{ jam}$$

3.1.4.2.3 Perhitungan Umur Pakai *Linear Guide Bushing Sumbu Z*

Penentuan jenis *bearing* berdasarkan diameter *shaft guide rail* dengan hasil SCS 8 UU. Umur pakai SCS 8 UU

$$L = \left(\frac{f_h \times f_t \times f_c}{f_w} \times \frac{c}{p} \right)^3 \times 50$$

$$L = \left(\frac{0,09 \times 1 \times 0,81}{1} \times \frac{2687 \text{ N}}{33,902 \text{ N}} \right)^3 \times 50$$

$$L = 9644,49 \text{ Km}$$

$$Lh = \frac{L \times 10^3}{2 \times l_s \times n_1 \times 60} = \frac{9644,49 \text{ km} \times 10^3}{2 \times 1 \times 0,2 \text{ m/s}^2 \times 60}$$

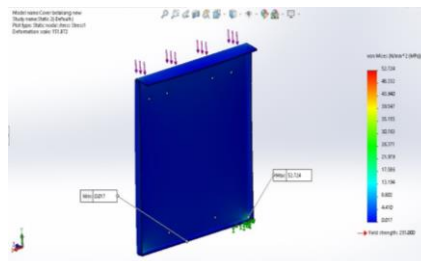
$$Lh = 401854 \text{ jam}$$

3.2. Analisis Kekuatan

Bagian mesin akan mengalami masa kelelahan (*fatigue*) akibat pergerakan dan pembebanan yang berulang-ulang. Dalam mengatasi kegagalan desain, diperlukan kajian dalam pembebanan maksimal yang diberikan pada mesin. Terhitung pada konstruksi rangka mesin dan elemen mesin sebagai transmisi gerakan setiap sumbu.

3.2.1 Cover Belakang

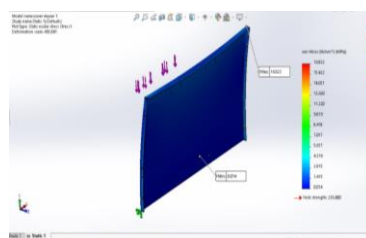
Berdasarkan pengujian fitur *Finite element*, pembebanan di *cover* belakang mendapatkan gaya statis sebesar 50 N. Warna merah hingga biru merupakan range titik kritis. *Cover* belakang mengalami titik kritis berwarna hijau sebagai parameter bahwa *cover* belakang tergolong ke dalam struktur konstruksi aman dengan nilai max 52.724 dan nilai min 0.017. Yield strength bernilai 235.000



Gambar 5 Cover Belakang

3.2.2 Cover Depan

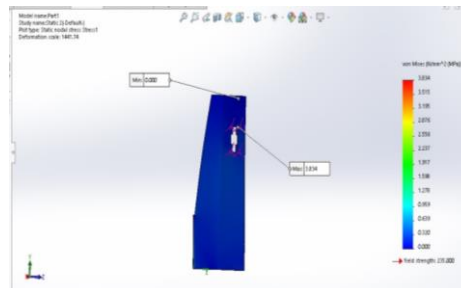
Berdasarkan pengujian fitur *Finite element*, pembebanan di *cover* depan mendapatkan gaya statis sebesar 50 N. Warna merah hingga biru merupakan range titik kritis. *Cover* depan mengalami titik kritis berwarna hijau sebagai parameter bahwa *cover* depan tergolong ke dalam struktur konstruksi aman dengan nilai max 16.822 dan nilai min 0.014. Yield strength bernilai 235.000



Gambar 6 Cover Depan

3.2.3 Arm Left

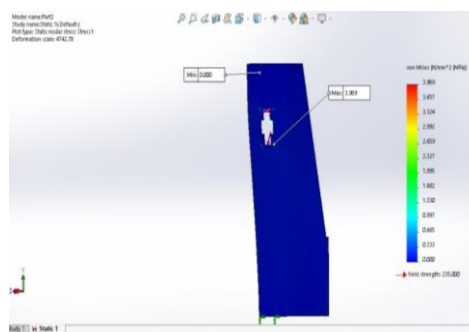
Berdasarkan pengujian fitur *Finite element*, pembebanan di *arm left* mendapatkan gaya statis sebesar 45 N. Warna merah hingga biru merupakan range titik kritis. *Arm left* mengalami titik kritis berwarna hijau sebagai parameter bahwa *arm left* tergolong ke dalam struktur konstruksi aman dengan nilai max 3.834 dan nilai min 0.000. Yield strength bernilai 235.000



Gambar 7 Arm Left

3.2.4 Arm Right

Berdasarkan pengujian fitur *Finite element*, pembebanan di *arm right* mendapatkan gaya statis sebesar 45 N. Warna merah hingga biru merupakan range titik kritis. *Arm right* mengalami titik kritis berwarna hijau sebagai parameter bahwa *arm right* tergolong ke dalam struktur konstruksi aman dengan nilai max 3.989 dan nilai min 0.000. Yield strength bernilai 235.000



Gambar 8 Arm Right

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan perhitungan dan analisis data, maka didapatkan konsep perancangan mesin yang dapat memotong material *acrylic* dengan kontur yang rumit. Rancangan ini menggunakan media pemotong Sinar *laser* daya 40 Watt, dimensi mesin 1500 mm x 600 mm x 700 mm dan dimensi material *acrylic* yang di kerjakan 500 mm x Ø 25 mm (*Hollow*) tebal maksimal 5 mm. Mesin ini bergerak otomatis dengan 4 axis yang dapat bergerak secara bersamaan dan simultan. Media pengontrol yang di gunakan pada rancangan mesin ini adalah *smoothieboard* yang dapat mensinkronisasi fungsi dari komponen penggerak dan komponen pendukung lain. Komponen penggerak mesin ini terdiri dari *microdriver* dan motor *stepper* sebagai sumber penggerak dari setiap axis. Transmisi menggunakan *timing belt*, *timing pulley*, dan *ballscrew*. Mesin ini juga dilengkapi pendingin rakitan untuk menjaga stabilitas suhu tabung *laser*. Mesin ini membutuhkan konsumsi daya sebesar 900 watt untuk menggerakkan seluruh komponen yang dirancang pada mesin. Ketelitian pengerjaan mesin mencapai 0,5 mm dengan resolusi motor 1,8⁰ dan maksimal kecepatan mesin 0,2 m/s.

DAFTAR PUSTAKA

- Kusmanto, Angga. Arya Panji Wicaksana; Fransiscus Johan Febriawan; F.X., Yoga Perdana W.R.; Phillipus Kenny F.H. (2018). LAPORAN TUGAS AKHIR MESIN 3D *PRINTER 3 NOZZLEE* (WARNA) BERBASIS *ROUTER*. Surakarta: Politeknik ATMI Surakarta.
- Lisam, Bibi. (10 Mei 2019). Apa itu power supply? Berikut penjelasannya. Tulisan pada <http://www.podfeeder.com/teknologi/apa-itu-power-supply-berikut-penjasannya/>.
- Deprintz. (7 Maret 2015). Perbandingan Mesin Laser Jenis CO2 Laser, YAG Laser dan Fiber Laser. Tulisan pada <https://deprintz.com/news/43/Berbagai-Jenis-Tipe-Mesin-Laser-Cutting-Marking-Engraving>.
- Harrizal, Ikhlah Syukran; Syafri; Adhy Prayitno. (2017). Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin *CNC Milling 3 Axis* Menggunakan *Close Loop System*. Universitas Riau, Kampus Bina Widya Panam, Pekanbaru. JOM FTEKNIK Volume 4 No. 2
- Motion Control Tips Editor*. (6 Maret 2014). *Building Vs Buying Stepper Motor Controllers*. Tulisan pada <https://www.motioncontroltips.com/building-vs-buying-stepper-motor-controller/#>.
- Shenzhen ECON Technology Co, Ltd*. (10 Maret 2019). Memegang Karakteristik Torsi dari Motor *Stepper*. Tulisan pada <http://id.hybridservos.com/news/holding-torque-character-of-stepper-motor-21622659.html>
- Universitas Sumatera Utara. Pompa. Tulisan pada <http://repository.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/37242/Chapter%20II.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
- Incropera, P. Frank; David P. DeWitt*. (1990). *FUNDAMENTALS OF HEAT AND MASS TRANSFER (THIRD EDITION)*. Singapura
- HANDBOOK OF HEAT TRANSFER/ editors, W.M. Rohsenow, J.P. Hartnett, Y.I. Cho. (THIRD EDITION)*. (1998).
- Braam Delfian Prihadianto, Gesang Nugroho. (2018). PENGARUH JARAK LASER HEAD TERHADAP DIAMETER SPOT PADA PEMOTONGAN *POLYMETHYL METHACRYLATE* MENGGUNAKAN MESIN *LASER CUTTING*. Jurnal Infotekmesin. Vol.9 No.1. 42-46.
- Muh Alfatih Hendrawan, Pramuko Ilmu Purboputro, Meda Aji Saputro, Wayan Setiyadi. (2018). Perancangan chassis Mobil Listrik Prototype “Ababil” dan Simulasi Pembebanan Statik dengan Menggunakan Solidworks Premium 2016. 96-105.
- Dimas Ariyono, Syafri. (2019). PENGEMBANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM KONTROL PROTOTIPE MESIN CNC MILLING 3 AXIS BERBASIS ARDUINO UNO DENGAN SISTEM LOOP TERTUTUP. Jom FTEKNIK. Volume 6. 1-6.
- Harist Fauzi. (2018). RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL MESIN *LASER ENGRAVING* DENGAN *MICROCONTROLLER ARDUINO*. Cikarang: President University.
- <https://www.sdp-si.com/>
- <https://www.orientalmotor.com/technology/motor-sizing-calculations.html>
- <https://www.oriental-motor.co.uk>
- <https://www.phytron.eu/>
- <https://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-311>
- B. Sudibyo, Ing. HTL. POROS PENYANGGA DAN POROS TRANSMISI. Surakarta: ATMI PRESS SOLO.
- B. Sudibyo, Ing. HTL. BANTALAN GELINDING. Surakarta: ATMI PRESS SOLO.
- B. Sudibyo, Ing. HTL. KEKUATAN DAN TEGANGAN IJIN. Surakarta: ATMI PRESS SOLO.