

## Desain dan analisis welding torch dengan wire feeder pada pengelasan tungsten inert gas (TIG) berbasis wire arc additive manufacturing (WAAM)

Monica Ayu Wibowo<sup>1</sup>, Ario Sunar Baskoro<sup>1,a</sup>, Agus Sentana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, 16424, Indonesia

<sup>a</sup>Corresponding Author: [ario@eng.ui.ac.id](mailto:ario@eng.ui.ac.id)

### ABSTRACT

Tungsten Inert Gas (TIG) welding is a popular and widely used welding method in the manufacturing industry. One of the applications of TIG welding is the Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) method. WAAM is a welding method that utilizes an electric arc welding process with an additional wire feeder. A TIG-WAAM machine consists of components such as a TIG power source, welding torch, wire feeder, and control system to regulate welding parameters. Therefore, the welding torch is an important component in this research on welding. The design in this research will then be analyzed through analytical calculations and simulations using Autodesk Inventor 2021 software to verify the construction of the TIG welding machine can withstand the load of the designed welding torch. This research will primarily focus on the strength of the TIG welding machine's construction to withstand the load after the welding torch is designed and then compare the results with the simulation calculations using Inventor software. Analytical load calculations are essential to ensure the safety and strength of the equipment in performing its function. The results of the Von Mises stress through analytical and simulation before welding torch is 1,49 MPa and 0,24 MPa. Meanwhile, the analytical and simulation after welding torch are 0,167 MPa and 0,27 MPa.

**Keywords:** Tungsten inert gas (TIG), wire arc additive manufacturing (WAAM), welding torch, wire feeder, design, analysis

**Received** 30 September 2023; **Presented** 5 October 2023; **Publication** 27 May 2024

### PENDAHULUAN

Pada era ini, teknologi bidang konstruksi terus berkembang pesat, dimana konstruksi baja merupakan hal yang akan sering dijumpai dikarenakan penggunaannya yang memiliki peran penting terhadap bidang konstruksi. Pada sebuah penerapan konstruksi baja, proses penyambungan logam atau proses pengelasan adalah proses yang tidak dapat dihindari [1]. Proses pengelasan merupakan sebuah teknik menyatukan logam, dimana dapat digunakan logam tambahan ataupun tidak membutuhkan logam tambahan untuk dapat menyatukan material menghasilkan logam yang kontinyu [2]. Proses pengelasan memanfaatkan energi panas dan memiliki peran besar terhadap proses produksi dunia industri [3].

Ada banyak jenis pengelasan yang digunakan hingga saat ini, salah satunya adalah mesin las *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) atau yang sering disebut juga *Tungsten Inert Gas* (TIG) yang merupakan mesin pengelasan menggunakan gas inert dan berbentuk busur listrik (*Arc Welding*) [4]. Las *Tungsten Inert Gas* (TIG) merupakan proses pengelasan busur yang menghasilkan peleburan logam dengan cara memanaskan antara busur dengan elektroda

tungsten dan menggunakan bahan penambah menggunakan bahan yang sejenis dengan bahan las dan terpisah dari *welding torch* atau pistol las. Las TIG dapat menjangkau proses pengelasan secara luas dan memiliki kemampuan yang tinggi untuk menyatukan logam. Pengelasan TIG tidak membutuhkan daya tambah, sehingga pengelasan TIG memungkinkan untuk dipakai pada pengelasan berbagai jenis logam [4, 5]. Dalam proses WAAM berbasis pengelasan TIG, komponen logam akan dilelehkan dengan *cold wire* menggunakan panas busur dimana akan membuat substrat lapis per lapis sehingga menghasilkan hasil yang diinginkan [6].

Prinsip kerja mesin TIG adalah panas dari busur yang berada pada antara elektroda *tungsten* dan logam induk akan meleburkan logam pengisi. Proses pengelasannya tidak memerlukan tekanan dan membutuhkan perlindungan gas. Perlindungan gas digunakan pada busur pengelasan yang menggunakan gas mulia, seperti Argon (*Ar*) ataupun Helium (*He*) [7]. Metode pengelasan TIG memiliki beberapa kelebihan, diantaranya adalah busur yang terkonsentrasi dan tidak menghasilkan terak las (*slag*), percikan las (*splatter*), dan asap (*smoke*) [8].

Secara umum konstruksi mesin TIG adalah sebuah alat yang dapat melakukan pengelasan

dengan adanya komponen *welding torch* sebagai salah satu komponen utama sebuah mesin pengelasan. Oleh karena itu, sehubungan dengan alat yang telah dibuat sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk melakukan penyempurnaan komponen tersebut, yaitu *welding torch* dan menganalisis struktur komponen benda menggunakan metode perhitungan analitis dan dibandingkan dengan perhitungan simulasi menggunakan *software Inventor*.

## TINJAUAN TEORITIS

### 1. Proses Welding

Definisi pengelasan berdasarkan DIN (*Deutsche Industrie Normen*) adalah sebuah ikatan metalurgi pada sebuah sambungan logam yang dapat dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan dari beberapa logam dengan menggunakan panas. Proses *welding* atau proses pengelasan secara sederhana dapat diartikan merupakan proses penyambungan dua buah logam hingga mencapai titik rekristalisasi baik dengan bahan tambahan maupun tidak. Berdasarkan Widharto (2003), proses pengelasan merupakan cara penyambungan benda padat dengan cara mencairkannya melalui pemanasan, didukung Wiryosumarto dan Okumura (2004) menyebutkan pengelasan adalah penyambungan setempat beberapa batang logam menggunakan energi panas [5, 7].

### 2. Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)

*Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)* adalah metode pengelasan *additive manufacturing (AM)* di bawah metode *DED (Direct Energy Deposition)* berbasis kawat yang menggunakan busur listrik sebagai sumber panas untuk peleburan dan pelelehan logam [9]. Prinsip pengelasan metode *WAAM* dapat dikatakan mirip dengan proses pembuatan *3D printing*. Metode *WAAM* dilakukan dengan meleburkan kawat elektroda di atas pelat baja sebagai substrat dengan busur listrik yang menghasilkan material di atas substrat [10].

### 3. Tungsten Inert Gas (TIG) Welding

*Tungsten Inert Gas (TIG) Welding* atau yang bisa disebut pengelasan *GTAW* merupakan suatu proses pengelasan yang menggunakan bahan tungsten sebagai elektroda dan gas pelindung dengan guna mencegah adanya oksidasi pada logam pada proses pengelasan. Gas

pelindung yang biasa digunakan dalam proses pengelasan berupa gas mulia seperti gas Argon (Ar). Daya busur mesin las TIG tidak bergantung pada bahan tambahan dari mesin las, maka dari itu las TIG dimungkinkan dipakai dalam pengelasan berbagai jenis logam [9, 10].

Pengelasan menggunakan sistem TIG memiliki kontrol input panas yang dimiliki dapat berjalan sangat baik, dikarenakan juga elektroda yang digunakan merupakan elektroda jenis non-consumable, pengelasan dapat dilakukan pada hampir semua logam tanpa membutuhkan penambahan logam pengisi. Pada umumnya, pengelasan ini sangat berguna pada penggabungan aluminium dan magnesium yang memiliki oksida tahan api dan juga logam reaktif [11].

Keterbatasan yang dimiliki pada pengelasan TIG antara lain prosesnya yang lebih lambat apabila dibandingkan proses *consumable electrode arc welding*, adanya paparan panas batang pengisi terhadap udara sekitar yang tidak tepat menyebabkan kontaminasi logam las, pemindahan tungsten cair dari elektroda menuju lasan juga dapat menyebabkan kontaminasi, yang menghasilkan hasil pengelasan keras dan rapuh, dan juga biaya pengelasan dan perawatan sistem TIG yang lebih besar, seperti biaya gas inert sebagai pelindung dan elektroda tungsten apabila dibandingkan proses *shielded metal arc welding* yang memiliki kontrol pengelasan tidak setepat sistem *GTAW* [12].

### 4. Welding Torch

*Welding Torch* yang terdapat pada pengelasan TIG biasanya memiliki bentuk seperti pistol yang memiliki ventilasi, *nozzle gas*, elektroda tungsten yang diposisikan berhubungan dengan *nozzle gas*, dan sebuah saklar yang bertugas untuk menjalankan operasi yang dapat diilustrasikan pada gambar 1.

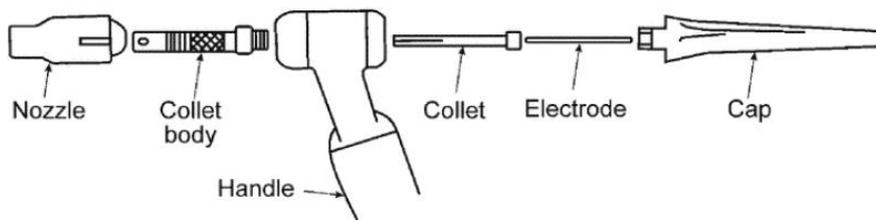
*Welding Torch* memiliki 6 komponen utama seperti pada gambar di atas, *nozzle*, *collet body* dan *collet*, *handle*, dan juga *cap*. Material yang digunakan pada *nozzle* biasanya merupakan **ceramic** atau **alumina oxide** dikarenakan material tersebut merupakan isolator listrik suhu tinggi, material pada *collet body* dan *collet* adalah **tellurium copper** dikarenakan material tersebut merupakan konduktivitas listrik dan panas yang baik, pada *torch body* menggunakan material **steel** karena kekuatannya serta penghantar listrik dan panas yang baik, sedangkan pada **cap** menggunakan **plastic and copper** dikarenakan

material memiliki ketahanan tinggi terhadap kekuatan *fatigue* dan pada tekanan atau *pressure* [13, 14].

## 5. Perhitungan Analitik

Gaya merupakan kekuatan yang dapat membuat benda yang berawal dari keadaan diam menjadi gerak. Resultan gaya terjadi ketika adanya dua buah gaya atau lebih yang bekerja pada suatu benda, maka dapat dilakukan penggabungan gaya-gaya tersebut yang dapat dikatakan juga

sebagai Resultan Gaya ( $R$ ). Momen terjadi saat gaya yang bekerja memiliki jarak tertentu dari titik yang menahan momen tersebut. Tegangan ijin bahan atau ultimate stress merupakan satuan tegangan terbesar yang dimiliki setiap bahan yang dapat ditahan bahan tersebut tanpa menimbulkan adanya kerusakan. Tegangan ijin merupakan bagian tegangan yang tidak boleh dilewati dalam sebuah konstruksi.



Gambar 1. Komponen Welding Torch

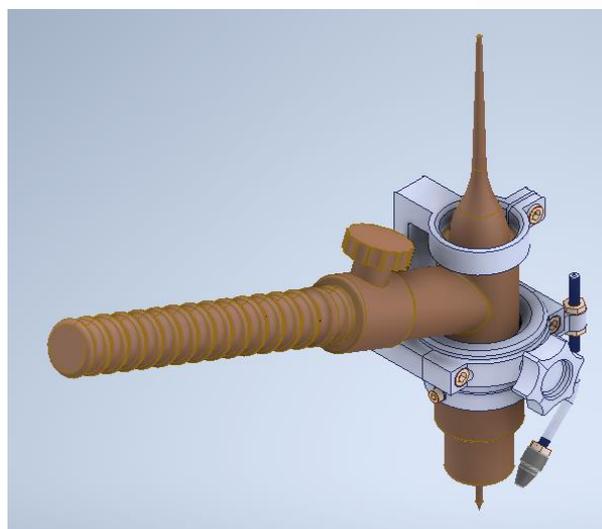
Safety factor atau faktor keamanan merupakan faktor untuk mengevaluasi dan menilai elemen mesin untuk konstruksi mesin terjamin aman. Hal hal yang memengaruhi safety factor adalah mechanical properties, jenis beban, pengaruh pengerjaan, perlakuan panas, pelumasan, waktu, dan lingkungannya.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan melakukan perancangan *welding torch* dengan acuan konstruksi mesin yang sudah ada pada Laboratorium Manufaktur Lantai 4, Universitas Indonesia. Proses perancangan ini dimulai dengan tahap perancangan tiga dimensi (3D). Setelahnya,

dilakukan *stress analysis* menggunakan *software Autodesk Inventor Professional 2023* untuk mendapatkan nilai tegangan Von Mises dan defleksi. Selain menggunakan Autodesk Inventor Professional 2021.

Setelah adanya tahapan pembuatan desain *welding torch*, tahap perhitungan yang dilakukan menjadi 2 macam, perhitungan analitik dan perhitungan simulasi. Proses perhitungan keduanya dilakukan untuk mencari kekuatan penampang konstruksi mesin pada 2 keadaan, yaitu pada saat konstruksi mesin belum diberikan desain *welding torch* dan setelah diberikan desain *welding torch*.

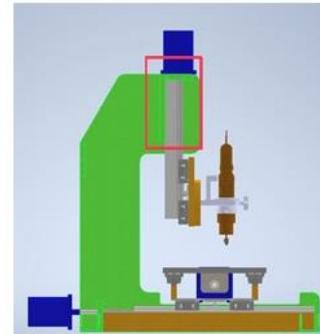
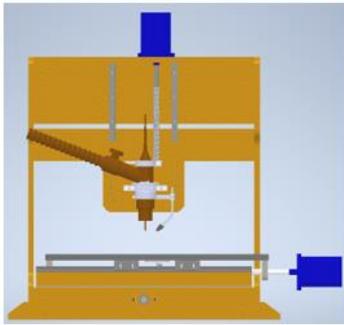


Gambar 2. Desain Welding Torch menggunakan Software Inventor 2021

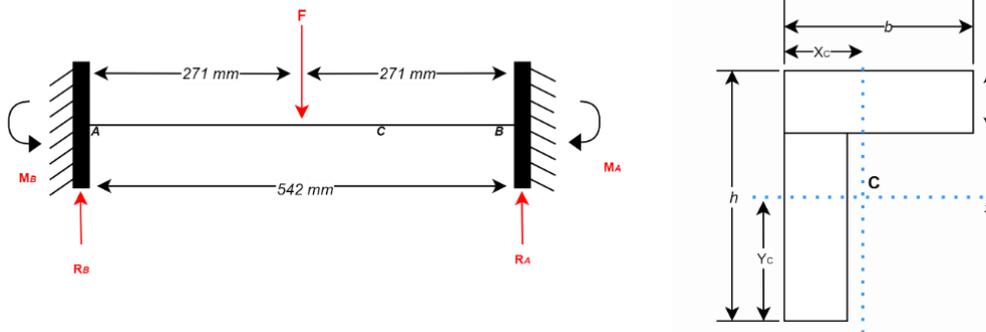
## 1. Perhitungan Analitik

Perhitungan analitik dilakukan dengan menentukan jenis penampang dan jenis support yang digunakan pada penelitian ini. Penelitian ini

menggunakan penampang jenis L atau angle section dengan fixed support pada kedua ujungnya dan point load yang terletak pada tengah penampang [15].



Gambar 3. Penampang L Beam



Gambar 4. Free Body Diagram Penampang L Beam

Perhitungan dilakukan pertama pada L Beam untuk mencari Luas Penampang (A), titik berat ( $y_c$ ), momen inersia ( $I_x$ ), dan *section modulus* (Z).

a. Luas Penampang (A)

$$A = t(b + h - t) \quad (1)$$

b. Titik Berat ( $y_c$ )

$$y_c = \frac{t}{2A} (b \cdot t + h^2 - t^2) \quad (2)$$

c. Momen Inersia ( $I_x$ )

$$I_x = \frac{[t(h-y_c)^3 + b \cdot (y_c^3) - (b-t)(y_c-t)^3]}{3} \quad (3)$$

d. Section Modulus (Z)

$$Z_y = \frac{I_x}{b - y_c} \quad (4)$$

Selanjutnya perhitungan pada penampang dengan 2 *fixed constraints* pada kedua sisinya yaitu sebagai berikut.

a. Reaksi Gaya A dan B

$$R_A = R_B = \frac{W}{2} \quad (5)$$

b. Momen Gaya A dan B

$$M_A = M_B = \frac{F \cdot L}{8} \quad (6)$$

c. *Point of Contraflexure*

$$x = \frac{L}{4} \quad (7)$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan tegangan geser dan tegangan normal. Penyebab dari tegangan geser dapat terjadi karena dua sebab, adanya gaya transversal, dan gaya torsi, sedangkan sebab dari normal ialah karena adanya gaya aksial dan tegangan lentur atau *bending*.

d. Tegangan Geser dan Tegangan Ijin Geser

$$\tau_s = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b} \quad (8)$$

$$|\tau_s| = \frac{k_s \cdot \sigma_{yp}}{sf} \quad (9)$$

e. Tegangan Bending dan Tegangan Ijin Bending

$$\sigma_b = \frac{M.Y}{I_x}$$

10)

$$|\sigma_b| = \frac{k_b \cdot \sigma_{yp}}{sf} \quad (11)$$

f. Perhitungan Tegangan Kombinasi

$$\sigma_{max,min} = \frac{\sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

12)

$$\sigma_{min} = \frac{\sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

13)

g. Perhitungan Tegangan Von Mises

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + \sigma_{min}^2 - \sigma_{max} \cdot \sigma_{min}}$$

14)

h. Perhitungan Defleksi

$$\delta_{max} = \frac{F.L^3}{192.E.I}$$

15)

Setelah perhitungan tegangan pada penampang dapat dikatakan aman, dilakukan juga perhitungan menghitung torsi daya ulir atau *power screws* [16].

a. Torsi Daya saat Ulir Dinaikkan

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - f l} \right)$$

16)

b. Torsi Daya saat Ulir Diturunkan

$$T_L = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{\pi f d_m - l}{\pi d_m + f l} \right)$$

17)

Untuk menentukan torsi maksimum yang dimiliki *power screws*, gesekan pada *collar* juga terhitung, sehingga rumus torsi maksimum ketika ulir dinaikkan dan diturunkan adalah sebagai berikut.

$$T_{R'} = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - f l} \right) + \frac{F f_c d_c}{2}$$

8)

(1)

$$T_{L'} = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{\pi f d_m - l}{\pi d_m + f l} \right) + \frac{F f_c d_c}{2}$$

(1)

9)

2. Perhitungan Simulasi

Perhitungan simulasi diawali dengan menentukan *boundary condition* penampang yaitu menentukan material yang digunakan (*assign materials*), menentukan lokasi *fixed support*, menentukan besar dan arah pembebanan yang terjadi, dan kemudian *meshing* yang akan dilanjut mendapatkan hasil simulasi berupa nilai *von mises stress* dan nilai *displacement*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Perhitungan Analitik

Perhitungan analitik dilakukan pada penampang L atau *angle section* adalah sebagai berikut.

a. Luas Penampang

Dengan persamaan (1), perhitungan luas penampang adalah sebagai berikut.

$$A = t(b + h - t)$$

$$A = 3.234 \text{ mm}^2$$

b. Centroid

Perhitungan titik tengah atau *centroid* yang ada pada penampang adalah menggunakan persamaan (2) adalah sebagai berikut.

$$x_c = \frac{t}{2A} (h \cdot t + b^2 - t^2)$$

$$x_c = \frac{14}{2(3.234)} ((165)(14) + 80^2 - 14^2)$$

$$x_c = 18,43 \text{ mm}$$

c. Momen Inersia

Hasil dari persamaan (3) untuk mencari momen inersia adalah sebagai berikut.

$$I_x = \frac{[t(h - y_c)^3 + b \cdot (y_c^3) - (b - t)(y_c - t)^3]}{3}$$

$$I_x = \frac{[14(165 - 60,929)^3 + 80(60,929^3) - (80 - 14)(60,929 - 14)^3]}{3}$$

$$I_x = 9.018.069,5 \text{ mm}^4$$

d. Section Modulus

Hasil dari persamaan (4) untuk mencari section modulus adalah sebagai berikut.

$$Z_y = \frac{I_x}{b - y_c}$$

$$Z_y = 86.653,88 \text{ mm}^3$$

e. *Point of Contraflexure*

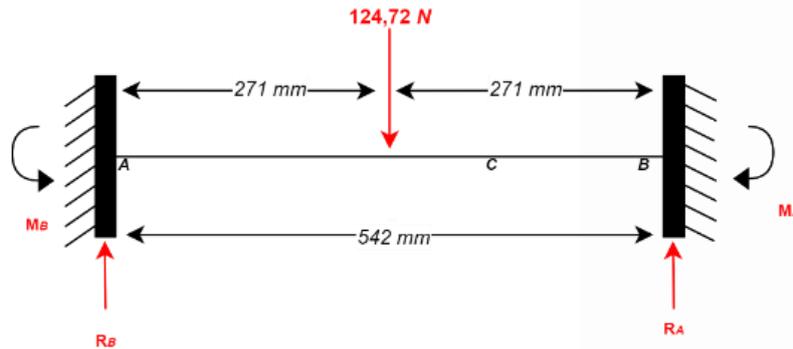
Point of Contraflexure merupakan titik dimana gaya yang bekerja pada penampang tersebut sama dengan nol. Menggunakan persamaan (5)

akan mendapatkan *point of contraflexure* pada penampang tersebut.

$$x = \frac{L}{4}$$

$$x = 135,5 \text{ mm}$$

Perhitungan tegangan yang terjadi pada konstruksi mesin sebelum pemberian desain *welding torch* adalah sebagai berikut.



Gambar 5. Free Body Diagram Penampang sebelum Welding Torch

Gaya yang bekerja pada titik A dan B akan bernilai sama karena beban yang diberikan merupakan beban *point load* di tengah penampang. Hasil dari gaya pada beban titik A dan B dapat diketahui dengan persamaan (5).

$$R_A = R_B = \frac{W}{2}$$

$$R_A = R_B = \frac{124,72}{2}$$

$$R_A = R_B = 62,36 \text{ N}$$

Selanjutnya perhitungan momen gaya yang bekerja pada titik A dan B menggunakan persamaan (6) adalah sebagai berikut.

$$M_A = M_B = \frac{F \cdot L}{8}$$

$$M_A = M_B = \frac{124,72 \cdot (542)}{8}$$

$$M_A = M_B = 8.449,78 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Resultan momen bending yang didapat adalah sebagai berikut.

$$M_b = \sqrt{(M_A)^2 + (M_B)^2}$$

$$M_b = 13.431,02 \text{ mm}$$

Menggunakan persamaan (8), maka perhitungan tegangan geser dapat dilakukan.

$$\tau_1 = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b}$$

$$\tau_1 = \frac{(62,36) \cdot (14 \times 80 \times 46,93)}{(9.018.069,5) \cdot (80)}$$

$$\tau_1 = 0,005 \text{ MPa}$$

$$\tau_2 = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b}$$

$$\tau_2 = \frac{(62,36) \cdot (14 \times 80 \times 46,93)}{(9.018.69,5)(14)}$$

$$\tau_2 = 0,026 \text{ MPa}$$

$$\Sigma \tau = 0,031 \text{ MPa}$$

Perhitungan Tegangan Normal akan dicari dengan menggunakan persamaan (10).

$$\sigma_2 = \frac{M_b \cdot Y}{I}$$

$$\sigma_2 = \frac{(13.431,02) \cdot (165 - 60,93)}{9.018.069,5}$$

$$\sigma_2 = 0,155 \text{ MPa}$$

Dengan menggabungkan persamaan (12) dan (13), maka tegangan kombinasi yang merupakan pencarian tegangan maksimum dan minimum dapat dilakukan.

$$\sigma_{max,min} = \frac{\sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\sigma_{max,min} = \frac{0,138}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{0,138}{2}\right)^2 + (0,031)^2}$$

$$\sigma_{max} = 0,145 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = -0,007 \text{ MPa}$$

Maka dengan hasil yang didapat dengan persamaan (12) dan (13), tegangan geser maksimum yang didapatkan adalah sebagai berikut.

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

$$\tau_{max} = 0,076 \text{ MPa}$$

Perhitungan Tegangan Von Mises dilakukan dengan memasukkan persamaan (14).

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + \sigma_{max}^2 - \sigma_{max} \cdot \sigma_{min}}$$

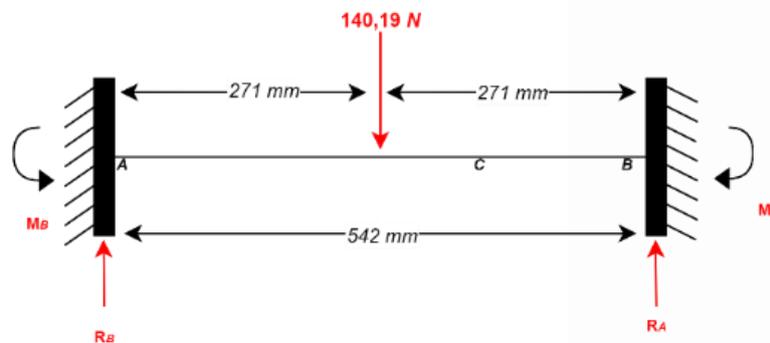
$$\sigma_{vm} = 0,149 \text{ MPa}$$

Perhitungan defleksi menggunakan persamaan (15) adalah sebagai berikut.

$$\delta_{max} = \frac{F \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I}$$

$$\delta_{max} = 5,94 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

Perhitungan tegangan yang terjadi pada konstruksi mesin sebelum pemberian desain *welding torch* adalah sebagai berikut.



Gambar 6. Free Body Diagram Penampang setelah Welding torch

Sama seperti sebelumnya, untuk mencari gaya pada titik A dan B akan dilakukan menggunakan persamaan (5).

$$R_A = R_B = \frac{W}{2}$$

$$R_A = R_B = \frac{140,19}{2}$$

$$R_A = R_B = 70,1 \text{ N}$$

Selanjutnya perhitungan momen gaya yang bekerja pada titik A dan B menggunakan persamaan (6) adalah sebagai berikut.

$$M_A = M_B = \frac{F \cdot L}{8}$$

$$M_A = M_B = \frac{140,19 \cdot (542)}{8}$$

$$M_A = M_B = 9.497,87 \text{ N.mm}$$

Resultan momen bending yang didapat adalah sebagai berikut.

$$M_b = \sqrt{(M_A)^2 + (M_B)^2}$$

$$M_b = 13.431,02 \text{ mm}$$

Perhitungan Tegangan Geser menggunakan persamaan (8) adalah sebagai berikut.

$$\tau_1 = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b}$$

$$\tau_1 = \frac{(70,1) \cdot (14 \times 80 \times 46,93)}{(9.018.069,5) \cdot (80)}$$

$$\tau_1 = 0,005 \text{ MPa}$$

$$\tau_2 = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b}$$

$$\tau_2 = \frac{(70,1) \cdot (14 \times 80 \times 46,93)}{(9.018.69,5)(14)}$$

$$\tau_2 = 0,029 \text{ MPa}$$

$$\Sigma \tau = 0,034 \text{ MPa}$$

Perhitungan Tegangan Lentur atau tegangan bending akan dilakukan menggunakan persamaan (10).

$$\sigma_2 = \frac{M_b \cdot Y}{I}$$

$$\sigma_2 = \frac{(13.431,02) \cdot (165 - 60,93)}{9.018.069,5}$$

$$\sigma_2 = 0,155 \text{ MPa}$$

Menggunakan persamaan (12) dan (13), maka tegangan kombinasi yang merupakan pencarian tegangan maksimum dan minimum dapat dilakukan.

$$\sigma_{max,min} = \frac{\sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\sigma_{max,min} = \frac{0,155}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{0,155}{2}\right)^2 + (0,034)^2}$$

$$\sigma_{max} = 0,163 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = -0,007 \text{ MPa}$$

Perhitungan Tegangan Maksimum menggunakan persamaan (12) dapat dilakukan sebagai berikut.

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

$$\tau_{max} = 0,085 \text{ MPa}$$

Perhitungan Tegangan Von Mises dilakukan menggunakan persamaan (14)

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + \sigma_{min}^2 - \sigma_{max} \cdot \sigma_{min}}$$

$$\sigma_{vm} = 0,167 \text{ MPa}$$

Defleksi maksimum yang terjadi pada penampang dapat dicari dengan menggunakan persamaan (15).

$$\delta_{max} = \frac{F \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I}$$

$$\delta_{max} = 6,68 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

Perhitungan selanjutnya adalah menghitung torsi yang bekerja pada ulir, baik ketika torsi

dinaikkan ( $T_R$ ) ataupun ketika torsi diturunkan ( $T_L$ ) menggunakan persamaan akhir, yaitu persamaan (18) dan (19).

Diketahui:

- Beban konstruksi : 96,438 N
- Mean diameter pitch : 15 mm
- Pitch lead screw (l) : 5 mm
- Koefisien gesek : 0,11
- Diameter collar : 28 mm
- Koefisien gesek collar : 0,11

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - f l} \right) + \frac{F f_c d_c}{2}$$

$$T_R = \frac{(96,348)(0,015)}{2} \left( \frac{(0,005) + (3,14)(0,11)(0,015)}{(3,14)(0,015) - (0,11)(0,005)} \right) + \frac{(96,384)(0,11)(0,028)}{2}$$

$$T_R = 0,229 \text{ N.m}$$

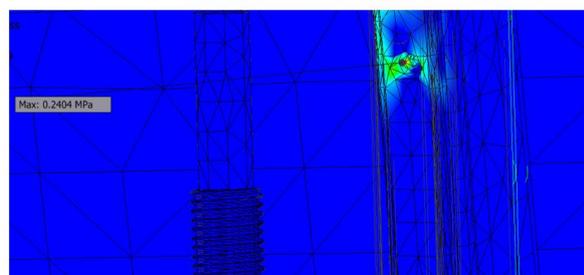
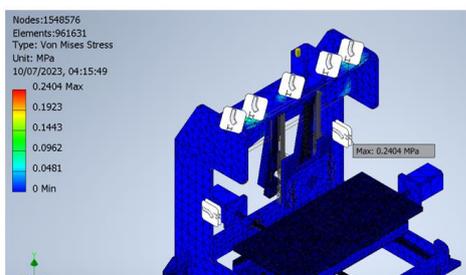
$$T_L = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{\pi f d_m - l}{\pi d_m + f l} \right) + \frac{F \cdot f_c \cdot d_c}{2}$$

$$T_L = \frac{(96,348)(0,015)}{2} \left( \frac{(3,14)(0,11)(0,015) - 0,005}{(3,14)(0,015) + (0,11)(0,005)} \right) - \frac{(96,384)(0,11)(0,028)}{2}$$

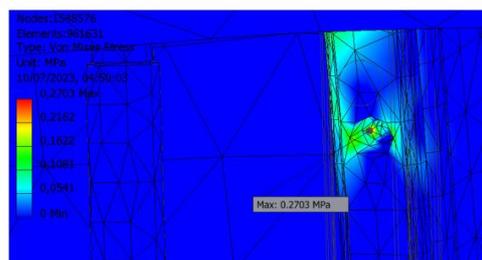
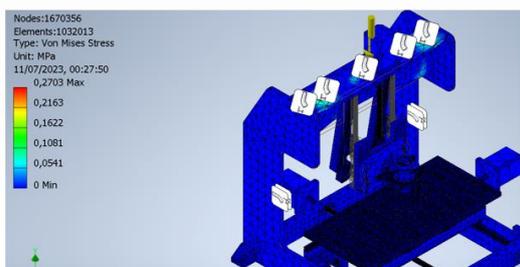
$$T_L = 0,127 \text{ N.m}$$

## 2. Hasil Simulasi

Hasil simulasi pada konstruksi mesin sebelum dan setelah pemberian welding torch adalah berikut.



Gambar 7. Simulasi Penampang sebelum dipasang welding torch



Gambar 8. Simulasi Penampang setelah dipasang *welding torch*

Hasil Von Mises Stress dari simulasi pertama menghasilkan nilai sebesar 0,24 MPa. Warna biru menunjukkan tegangan minimum, dan juga adanya warna hijau, kuning, dan orange merupakan perubahan tegangan minimum menuju tegangan maksimum hingga berwarna merah. Hasil tegangan ijin yang dimiliki bahan konstruksi sebesar 124,7 MPa, maka desain *welding torch* dikatakan aman untuk diletakkan.

## KESIMPULAN

1. Tegangan yang terjadi pada konstruksi adalah tegangan normal dan tegangan geser.
2. Hasil tegangan normal yang pada konstruksi mesin sebelum *welding torch*, yaitu tegangan bending sebesar 0,138 MPa dan tegangan geser sebesar 0,031 MPa. Sedangkan pada konstruksi mesin setelah *welding torch* diberikan didapatkan tegangan bending sebesar 0,155 MPa dan tegangan geser sebesar 0,034 MPa.
3. Hasil tegangan maksimum perhitungan analitik pada konstruksi mesin sebelum *welding torch* diberikan sebesar 0,076 MPa dan pada konstruksi mesin setelah *welding torch* pada 0,085 MPa.
4. Perbandingan hasil nilai *von mises* pada perhitungan analitik konstruksi mesin sebelum *welding torch* adalah 0,149 MPa dan pada simulasi sebesar 0,24 MPa. Pada konstruksi mesin setelah *welding torch* secara perhitungan analitik sebesar 0,149 MPa dan pada simulasi sebesar 0,27 MPa.
5. Besar defleksi yang terjadi pada konstruksi mesin sebelum *welding torch* diberikan sebesar  $5,94 \times 10^{-5}$  mm dan pada konstruksi mesin setelah *welding torch* diberikan sebesar  $6,98 \times 10^{-5}$  mm. Hasil defleksi yang didapatkan sangatlah kecil sehingga dapat diasumsikan besar defleksi sama dengan nol.
6. Hasil perhitungan torsi konstruksi mesin setelah diberikan *welding torch* adalah untuk torsi yang menaikkan beban ulir sebesar 0,229 *N.m* dan torsi untuk menurunkan ulir sebesar 0,127 *N.m* dianggap sudah aman, karena torsi maksimum yang dimiliki *motor*

*stepper* model J-5718HB3401 sebesar 3,2 *N.m*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis dapat menyampaikan ucapan terima kasih kepada Hibah Penelitian Fundamental Reguler Tahun 2023 Program dari Kementerian Pendidikan, Kebudayaan Riset dan Teknologi Republik Indonesia dengan nomor kontrak: NKB-1141/UN2.RST/HKP.05.00/2023.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Azwinur, A., Jalil, S.A. and Husna, A. (no date) Pengaruh Variasi Arus Pengelasan terhadap Sifat Mekanik pada Proses Pengelasan SMAW, Jurnal Polimesin. Available at: <http://e-jurnal.pnl.ac.id/polimesin/article/view/372> (Accessed: April 14, 2023).
- [2] Candra, F., Sugiyarto and Erwanto (no date) Analisis Penyambungan Las GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)/ TIG Menggunakan Mesin Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) dengan DYE Penetrant, snitt.pol. snitt.polman-babel.ac.id. Available at: <https://snitt.polman-babel.ac.id/index.php/snitt/article/view/210/119> [https://www.osteoporosis.foundation/sites/fofbonehealth/files/2022-05/WOD%20Toolkit\\_Final.pdf](https://www.osteoporosis.foundation/sites/fofbonehealth/files/2022-05/WOD%20Toolkit_Final.pdf). (Accessed: April 14, 2023).
- [3] HANDOYO, DWI (2011) Studi Pengaruh Parameter Pengelasan pada Proses Spot Welding Terhadap Kualitas Produk. Skripsi thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [4] Yanuardi, Rosyid Sidiq (2019) Analisis Spot Welding Menggunakan Metode TIG Spot Welding Sebagai Pengganti Spot Welding Konvensional Pada Material Stainless Steel Tipe 304. Diploma thesis, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- [5] Tarnag, Y.S., Tsai, H.L. and Yeh, S.S.

- (1999) "Modeling, optimization and classification of Weld Quality in Tungsten Inert Gas Welding," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39(9), pp. 1427–1438. Available at: [https://doi.org/10.1016/s0890-6955\(99\)00013-9](https://doi.org/10.1016/s0890-6955(99)00013-9).
- [6] Omer Eyercioglu, Yusuf Atalay, and Mehmet Aladag. (2019). "EVALUATION OF OVERHANG ANGLE IN TIG WELDING-BASED WIRE ARC ADDITIVE MANUFACTURING PROCESS." *International Journal of Research - Granthaalayah*, 7(10), 247-254. doi: <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v7.i10.2019.393>.
- [7] Hikmatullah, M.R. et al. (2021) 'Rancang Bangun mesin las tig semi otomatis berbasis arduino uno', *Journal of Mechanical Engineering*, 5(1). doi: <https://doi.org/10.31002/jom.v5i1.3945>.
- [8] Baskoro, A.S. et al. (2013) 'Peningkatkan penetrasi Pengelasan Pada las tig (tungsten inert gas) Menggunakan pengaruh Medan Elektromagnetik', *Jurnal Teknik Mesin*, 14(1). doi: <https://doi.org/10.9744/jtm.14.1.7-13>.
- [9] Noviansyah, N. et al. (2021) 'Analisa Perbandingan Las Tig Dan Las Smaw terhadap kekuatan Tarik Dan kekerasan stainless steel 304', *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, 8(2), p. 189. doi: <https://doi.org/10.35449/teknika.v8i2.193>.
- [10] Ramadhan, Aditya Nur & Tamjidillah, Mastiadi., "Analisa Variasi Kecepatan Wire Feeder Pada Proses Las GMAW Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja ASTM A36". *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 5(2), 95-108, 2020
- [11] Awali, J., Lubis, M.P.D. and Amalia, L. (no date) "Metode waam dengan kombinasi 2 jenis Pengelasan Guna menciptakan material fisik baru". *LPMI ITK*. Available at: <https://lppm.itk.ac.id/detail-berita/penelitian-metode-waam-dengan-kombinasi-2-jenis-pengelasan-guna-menciptakan-material-fisik-baru> (Accessed: April 14, 2023).
- [12] SAPUTRA UTAMA, RIZKI (2019) "MODIFIKASI LAS GTAW SEMI I DENGAN PENAMBAHAN FEEDER LAS GMAW". Undergraduate thesis, Vokasi undip.
- [13] Kurniawan, H. Pungki Anggara (2009) Pengaruh Parameter Dan Komposisi Gas Pelindung Terhadap Dimensi Manik Las, Porositas Dan Laju Korosi Pada Proses Peleburan Logam Menggunakan Torch GTAW. Other thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [14] Kurniawan, Andre (2019) Pengaruh Kuat Arus dan Sudut Kampuh Terhadap Kekerasan Daerah Haz Aluminium Alloy 6063 dengan Pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG). Vol 4, No 1. Program Teknik Mesin Fakultas Teknik UISU.
- [15] Oberg, Erik Jones, Franklin D. Horton, Holbrook L. Ryffel, Henry H.. (2012). *Machinery's Handbook (29th Edition) & Guide to Machinery's Handbook - Stresses and Deflections in Beams*. Industrial Press. Retrieved from [app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00ABSHRL/machinerys-handbook-29th/beam-calculation-stresses-deflections](http://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00ABSHRL/machinerys-handbook-29th/beam-calculation-stresses-deflections)
- [16] Shigley, J.E. (2007) *Mechanical engineering design*. North Ryde, N.S.W.: McGraw-Hill Australia