

PERANCANGAN STRUKTUR RANGKA LENGAN ROBOT MEKANIK PEMINDAH BAHAN TIPE *CARTESIAN COORDINATE*

Ilham Vega Prayuda¹, Budi Hartono¹, Edi Sutoyo¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun Bogor
Email : ilhamvegaprayuda@gmail.com

ABSTRACT

This study describes the design of skeletal structure of mechanical robot arm of cartesian coordinate material type with area of 60 x 50 cm using 2 main axis that is X axis and Y axis. This study aims to determine the movement system, frame construction, welded joints. Based on the design results, the driving force using the stepper motor OMHT17-275 for the driving force on the X axis that has a torque of 0.249 Nm, stepper motor OM5014-075 for the motor on Y axis which has a torque of 0.235 Nm. The stresses occurring in the lead screw are the compressive stress of 3.9 MPa, the bending stress of 0.028 MPa, and the shear stress of 3.3 MPa. The amount of stress that occurs in the lead screw is still below the yield strength of the material, so the lead screw is quite safe. Analyze on linear rod Y axis with S45C material get load 51,993 N caused stress 0,00245 MPa < material stress permit 29,419 MPa, and deflection 0,052 mm < software simulation result 0,072 mm, so material is considered safe. Analysis on linear rod X-axis with S45C material got 14,715 N caused stress 0.000721 MPa < material stress permit 29,419 MPa, and curve or buckling force on Y axis was 10,322 kg. The stress value that occurs < the stress of the material permit, therefore the design able to withstand the load occur. From the calculation of the tensile stress of 1.83 MPa < welding stress allowable 53.75 MPa, so the welding is considered safe. The shear stress value that occurs at 1.83 MPa < stress allowable 47.37 MPa, so the welding is considered safe.

Keywords : robot arm, cartesian coordinate, lead screw, linear rod, allowable stress.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan penemuan suatu sistem robot pemindah bahan dengan sistem robotik terus mendorong teknologi industri yang semakin maju. Hal ini terlihat jelas dengan semakin banyak sistem robot pemindah bahan yang membantu pekerjaan manusia dalam mengerjakan pekerjaan yang sulit. Kebutuhan terhadap kualitas peningkatan produktivitas produksi lebih efisien sangat diharapkan, untuk menunjang peningkatan produktivitas produksi lebih efisien dari hal tersebut banyak kalangan yang menggunakan sistem lengan robot pemindah bahan[1]. Aplikasi lengan robot pemindah bahan telah berkembang luas untuk membantu pengaplikasian dalam dunia industri yang membutuhkan kecepatan, ketelitian, dan tingkat kesulitan tinggi yang belum tentu bisa manusia kerjakan. Sudah banyak saat ini perusahaan hingga mahasiswa yang membuat robot walaupun hanya berukuran kecil untuk membuat inovasi dalam pengaplikasian sistem

otomatis di masa yang akan datang. Penelitian yang biasa dilakukan saat ini adalah sistem lengan robot yang dapat diaplikasikan dalam dunia industri seperti welding, milling, drilling, grinding dan masih banyak pengaplikasian dalam pengindustrian[2].

Perancangan ini menguraikan tentang perancangan struktur rangka lengan robot mekanik pemindah bahan tipe *cartesian coordinate* dengan luas area 60 x 50 cm dengan penggerak menggunakan 2 sumbu utama yaitu sumbu X dan sumbu Y. Untuk merancang pergerakan lengan robot pemindah bahan sehingga *end-effector* yang dipasang pada ujung bebasnya mampu bergerak ke arah benda yang akan di pindahkan. Pada perancangan struktur rangka robot mekanik pemindah bahan memiliki bagian utama untuk perancangan lengan robot seperti sistem penggerak, konstruksi rangka, dan sambungan las[3].

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut : Mendapatkan hasil dari perancangan struktur rangka lengan robot mekanik pemindah bahan

dengan massa benda 100 gram. Menganalisa kemampuan pergerakan lengan robot dalam mengangkat dan memindahkan benda dari titik koordinat dengan 2 sumbu X dan Y.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dilakukan dengan cara penggabungan antara perancangan struktur rangka lengan robot mekanik pemindah bahan tipe *cartesian coordinate* dan perhitungan sistem penggerak, konstruksi rangka, sambungan las.

• Sistem penggerak

Sistem penggerak untuk pergerakan motor pada pergerakan lengan robot ini menggunakan motor stepper yang merupakan jenis motor yang menggunakan tegangan searah sebagai sumber tenaganya. Motor stepper ini berfungsi sebagai penggerak pada *leadscrew* dan membantu mentransmisikan pergerakan pada sumbu X dan Y.

• Menghitung Gaya Pada Sumbu X dan Sumbu Y

Gaya untuk mendorong pergerakan sumbu X dan gaya untuk mendorong pergerakan sumbu Y.

Menghitung gaya pada sumbu X :

$$F = m \times g \times \mu \dots \dots \dots (1)$$

di mana :

- m = massa benda [kg]
- g = percepatan gravitasi [m/s^2]
- μ = koefisien gesek = 0,3

Menghitung gaya pada sumbu Y :

$$F = m \times g \dots \dots \dots (2)$$

di mana :

- m = massa benda [kg]
- g = percepatan gravitasi [m/s^2]

• Menghitung torsi yang dihasilkan motor

Menghitung torsi motor yang dibutuhkan pada sumbu X dengan persamaan berikut :

$$T = F \times r \dots \dots \dots (3)$$

di mana :

- F = gaya [N]
- r = jari-jari pada *lead screw* [m]

Menghitung torsi motor yang dibutuhkan pada sumbu Y dengan persamaan berikut :

$$T = F \times r \dots \dots \dots (4)$$

di mana :

- F = gaya [N]

r = jari-jari pada *lead screw* [m]

Torsi yang dibutuhkan oleh motor sumbu X 0,249 Nm dan sumbu Y 0,235 Nm dengan penyalur tenaga 99%, sehingga torsi pada ulir dapat dihitung dengan persamaan berikut :

Torsi yang dihasilkan motor sumbu X

$$Tm = \frac{T \times 1}{\eta \times 30} \dots \dots \dots (5)$$

di mana :

- T = torsi untuk mendorong [Nm]
- η = efisiensi penyalur tenaga 99 %
- Tm = torsi motor sumbu X [Nm]

Torsi yang dihasilkan motor sumbu Y

$$Tm = \frac{T \times 1}{\eta \times 30} \dots \dots \dots (6)$$

di mana :

- T = torsi untuk mendorong [Nm]
- η = efisiensi penyalur tenaga 99 %
- Tm = torsi motor sumbu X [Nm]

• Menghitung Tegangan Lead Screw

Perhitungan tegangan yang terjadi pada *lead screw* untuk mengetahui tegangan-tegangan yang terjadi pada *lead screw*. Hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan nilai kekuatan bahan. Dengan demikian dapat diketahui kekuatan dari bahan agar tidak terjadi kegagalan.

• Tegangan Tekan

Untuk menghitung tegangan tekan yang terjadi pada *lead screw* adalah dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\tau t = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (7)$$

di mana :

P = beban yang terjadi pada *lead screw* [N]

$$A = \frac{\pi}{4} \left(\frac{dr+dp}{2} \right)^2$$

• Tegangan Lentur

Pada *lead screw* terjadi kontak antara mur dan ulir dari *lead screw*, agar ulir dari *lead screw* atau mur tidak mengalami lenturan, maka harus di hitung beban maksimal yang dapat di terima ulir dari mur atau *screw*. Untuk menghitung tegangan lentur pada *lead screw* adalah dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\sigma b = \frac{3.P.H}{(\pi.dp.n)h^2} \dots \dots \dots (8)$$

di mana :

P = beban yang terjadi pada lead screw [N]
 H = tinggi ulir
 dp = diameter pitch [m]
 n = jumlah ulir

• **Tegangan Geser**

Tegangan geser terjadi akibat adanya gaya dari torsi, untuk menghitung tegangan geser yang terjadi adalah dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\tau_G = \frac{16 \times F}{\pi \times d^3} \dots \dots \dots (9)$$

Dari hasil perhitungan diatas maka kita dapat mengetahui tegangan geser maksimal yaitu dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\tau_{G \text{ maks}} = \frac{1}{2} \sqrt{\tau_t^2 + 4 \times \tau_G^2} \dots \dots \dots (10)$$

• **Menghitung Beban Maksimum Pada Lead Screw**

Untuk menghitung beban maksimum yang bisa diangkat oleh lead screw yaitu dengan menggunakan persamaan berikut :

$$W_{max} = Ax \sigma_y \left[1 - \frac{\sigma_y}{4.C.\pi^2.E} \left(\frac{L}{K} \right)^2 \right] \dots \dots (11)$$

di mana :

- σ_y = Yield Streng [Mpa]
- L = Panjang Screw [m]
- K = Sudut girasi
- $K = \sqrt{\frac{dp}{4}}$
- E = Modulus elastisitas [Gpa]
- A = Luas penampang [m²]
- C = Faktor penyangga = 4

Karena bahan termasuk pada golongan steel dan beban yang terjadi termasuk pada kategori jenis bahan yang statis atau live load, maka faktor keamanan yang digunakan adalah 8, maka beban maksimal yang diijinkan pada lead screw adalah :

$$W_{ijin} = \frac{W_{max}}{\text{safety faktor}} \dots \dots \dots (12)$$

• **Konstruksi Rangka**

Konstruksi rangka adalah penentuan akhir ukuran yang dibutuhkan dan semua perincian elemen, batang dan sambungan-sambungan yang membentuk struktur sebagai satu keseluruhan dimana ketentuan konstruksi sesungguhnya dapat dikerjakan. Suatu alat harus dirancang sedemikian rupa sehingga mampu menahan tegangan maksimum yang

berkaitan dengan beban yang terjadi, baik dalam lentur maupun geser. [4]

• **Menghitung Kekuatan Linear Rod**

Material yang digunakan adalah S45C dengan tegangan lentur 339 MPa , tegangan tarik $\sigma_t = 449 \text{ MPa}$, modulus elastisitas $2 \times 10^5 \text{ MPa}$, panjang 500 mm, menopang rangka sumbu Y dengan berat massa 5,3 kg.

• **Menghitung Beban Pada Linear Rod**

Untuk pengujian beban pada linear rod diambil dari berat total masing-masing sumbu penggerak. Perhitungan beban yang terjadi pada linear rod dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$P = m \times g \dots \dots \dots (13)$$

di mana :

- P = beban [N]
- m = massa benda [kg]
- g = percepatan gravitasi [m/s²]

• **Menghitung tegangan batang sumbu X dan sumbu Y**

Menghitung tegangan batang dengan persamaan

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (14)$$

di mana :

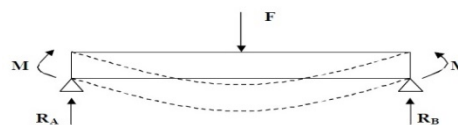
- P = Beban [N]
- A = Luas penampang [m²]

Menghitung tegangan ijin batang:

$$\sigma_{ijin} = \frac{\sigma_{t \text{ bahan}}}{f} \dots \dots \dots (15)$$

• **Defleksi**

Defleksi merupakan peristiwa melengkungnya suatu batang yang ditumpu akibat adanya beban yang bekerja pada batang tersebut, beban yang dimaksud dapat berupa beban dari luar ataupun daridalam karena pengaruh berat batang sendiri[9].



Gambar 1. Batang Yang Mengalami Defleksi[9]

$$\delta = \frac{PL^3}{384EI} \text{ (mm)} \dots \dots \dots (16)$$

• **Menghitung Gaya Lekukan / Buckling Pada Linear Rod Sumbu Y**

Untuk menghitung gaya lekukan pada sumbu Y menggunakan persamaan berikut:

$$P_{cr} = 4 \pi^2 \cdot E \cdot I \dots\dots\dots(17)$$

di mana :

P_{cr} = Beban kritis / gaya buckling (kg)

E = Modulus elastisitas bahan S45C

I = momen inersia (cm^4)

2.3 Sambungan Las

Sambungan las adalah suatu proses penyambungan logam melalui pemanasan. Panas dapat diperoleh dari tenaga listrik maupun gas. Proses pengelasan dengan tenaga listrik disebut las busur listrik, sedang kan dengan gas disebut las gas.[10]

• **Menghitung Kekuatan Sambungan Las Ditinjau Dari Logam Las**

a. Menghitung Tegangan Tarik

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(18)$$

maka :

$$\sigma_{t \text{ ijin}} = \frac{\sigma_{t \text{ lasan}}}{faktork \text{ keamanan}} \dots\dots\dots(19)$$

b. Menghitung Tegangan Geser

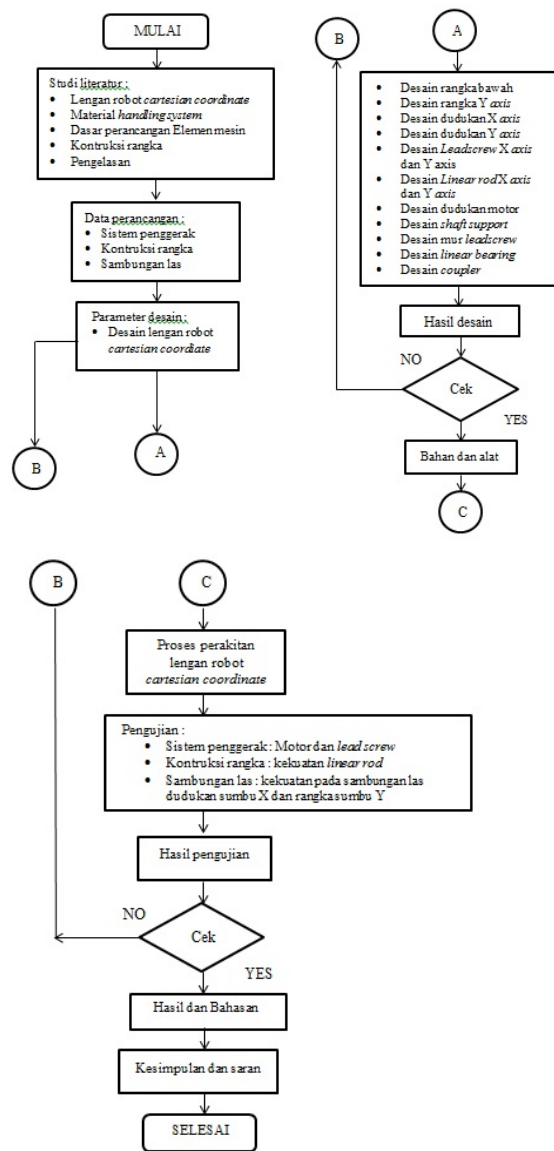
$$\sigma_g = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(20)$$

maka :

$$\sigma_{g \text{ ijin}} = \frac{\sigma_{g \text{ logam las}}}{faktork \text{ keamanan}} \dots\dots\dots(21)$$

Tahapan yang dilakukan dalam perancangan adalah:

1. Membuat desain perancangan struktur rangka lengan robot mekanik pemindah bahan tipe *cartesian coordinate*.
2. Menyiapkan alat dan bahan.
3. Proses perancangan lengan robot tipe *cartesian coordinate*.
4. Pengujian dan perhitungan sistem penggerak, kontruksi rangka dan sambungan las.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

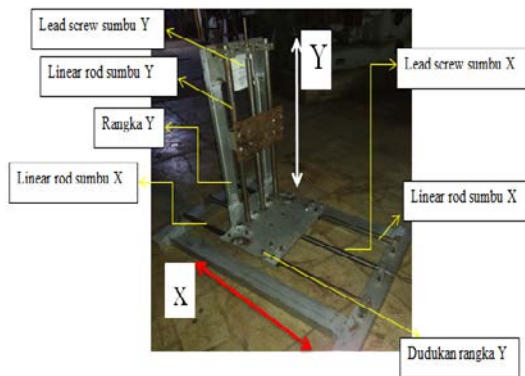
3. HASIL DAN BAHASAN

• **Sistem penggerak**

Sistem penggerak untuk pergerakan motor pada pergerakan lengan robot ini menggunakan motor stepper yang merupakan jenis motor yang menggunakan tegangan searah sebagai sumber tenaganya. Motor stepper ini berfungsi sebagai penggerak pada *leadscrew* dan membantu mentransmisikan pergerakan pada sumbu X dan Y.

• **Menghitung Gaya Pada Sumbu X dan Sumbu Y**

Gaya untuk mendorong pergerakan sumbu X dan gaya untuk mendorong pergerakan sumbu Y. Menghitung gaya dengan menggunakan persamaan berikut :



Gambar 3 Rangka Lengan Robot Tipe Cartesian Coordinate

- a. Menghitung gaya pada sumbu X :

$$F = m \times g \times \mu$$

$$F = 5,3 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,3$$

$$F = 15,597 \text{ N}$$

- b. Menghitung gaya pada sumbu Y :

$$F = m \times g$$

$$F = 1,4 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F = 14,715 \text{ N}$$

Jadi, hasil gaya dorong yang di perlukan untuk mendorong pergerakan sumbu X 15,597 N harus lebih besar dari pergerakan sumbu Y 14,715 N, Karena beban terbesar berada pada sumbu X.

• Menghitung Torsi Yang Dihasilkan Motor

Menghitung torsi motor yang dibutuhkan pada sumbu X dengan persamaan berikut :

$$T = F \times r$$

$$T = 15,597 \text{ N} \times 0,016 \text{ m}$$

$$T = 0,249 \text{ Nm}$$

Menghitung torsi motor yang dibutuhkan pada sumbu Y dengan persamaan berikut :

$$T = F \times r$$

$$T = 14,715 \text{ N} \times 0,016 \text{ m}$$

$$T = 0,235 \text{ Nm}$$

Torsi yang dibutuhkan oleh motor sumbu X 0,249 Nm dan sumbu Y 0,235 Nm dengan penyalur tenaga 99%, sehingga torsi pada ulir dapat dihitung dengan persamaan berikut :

1. Torsi yang dihasilkan motor sumbu X

$$Tm = \frac{T \times 1}{\eta \times 30}$$

$$T = Tm \times \eta \times 30$$

$$T = 0,249 \text{ Nm} \times 99\% \times 30$$

$$T = 7,39 \text{ Nm}$$

2. Torsi yang dihasilkan motor sumbu Y

$$Tm = \frac{T \times 1}{\eta \times 30}$$

$$T = Tm \times \eta \times 30$$

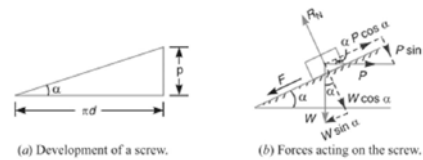
$$T = 0,235 \text{ Nm} \times 99\% \times 30$$

$$T = 6,979 \text{ Nm}$$

Jadi, dapat di simpulkan untuk pemilihan motor dapat dilihat pada tabel 4.1 telah di dapat motor *stepper* OMHT17-275 untuk motor penggerak pada sumbu X yang memiliki torsi 0,249 Nm, motor *stepper* OM5014-075 untuk motor penggerak pada sumbu Y yang memiliki torsi 0,235 Nm.

• Perhitungan Pada Lead Screw

• Menghitung gaya tangensial Lead Screw



Gambar 4 Gaya tangensial pada screw [5]

Gambar gaya tangensial pada *screw* resultan gaya pada *lead screw* terjadi akibat adanya beban yang bekerja pada *lead screw*. Sebelum menghitung gaya tangensial pada *lead screw* maka kita harus mengetahui dulu sudut *helix* pada *leadscrew* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\tan \alpha = \frac{0,004 \text{ m}}{3,14 \times 0,014 \text{ m}}$$

$$\tan \alpha = 0,090 = 5,14^\circ$$

• Menghitung Tegangan Lead Screw

• Tegangan Tekan

Untuk menghitung tegangan tekan yang terjadi pada *lead screw* adalah dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\tau t = \frac{P}{A}$$

$$\tau t = \frac{51,993 \text{ N}}{0,000132 \text{ m}^2}$$

$$\tau t = 3,9 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 3,9 \text{ MPa}$$

• Tegangan Lentur

Pada *lead screw* terjadi kontak antara mur dan ulir dari *lead screw*, agar ulir dari *lead screw* atau mur tidak mengalami lenturan, maka harus di hitung beban maksimal yang dapat di terima ulir dari mur atau *screw*. Untuk menghitung tegangan lentur pada *lead screw*

adalah dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot P \cdot H}{(\pi \cdot dp \cdot n) h^2}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \times 51,993 \times (0,5 \times 0,004)}{(3,14 \times 0,014 \text{ m} \times 12,5)(0,5 \times 0,004)}$$

$$\sigma_b = \frac{0,31 \text{ N/mm}}{0,0011 \text{ m}^3}$$

$$\sigma_b = 281,81 \text{ N/m}^2 = 0,028 \text{ MPa}$$

• Tegangan Geser

Tegangan geser terjadi akibat adanya gaya dari torsi, untuk menghitung tegangan geser yang terjadi adalah dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\tau_G = \frac{16 \times 0,094 \text{ Nm}}{3,14 \times (0,012)^3}$$

$$\tau_G = \frac{1,50 \text{ Nm}}{0,000452} = 3,3 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$= 3,3 \text{ MPa}$$

Dari hasil perhitungan diatas maka kita dapat mengetahui tegangan geser maksimal yaitu dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\tau_{G \text{ maks}} = \frac{1}{2} \sqrt{\tau_t^2 + 4 \times \tau_G^2}$$

$$\tau_{G \text{ maks}} = \frac{1}{2} \sqrt{3,9^2 + 4 \times 3,3^2}$$

$$\tau_{G \text{ maks}} = \frac{1}{2} \sqrt{15,21 + 43,56}$$

$$\tau_{G \text{ maks}} = \frac{1}{2} \sqrt{58,77} = 3,8 \text{ MPa}$$

Tegangan yang terjadi pada *lead screw*, tegangan tekan yang terjadi sebesar 3,9 MPa, tegangan lentur sebesar 0,028 MPa, dan tegangan geser yang terjadi sebesar 3,3 MPa. Besarnya tegangan yang terjadi pada *lead screw* masih dibawah titik *yield strength* dari bahan, maka *lead screw* cukup aman.

• Menghitung Beban Maksimum Pada Lead Screw

Untuk menghitung beban maksimum yang bisa diangkat oleh *lead screw* yaitu dengan menggunakan persamaan berikut :

$$W_{max} = Ax \sigma_y \left[1 - \frac{\sigma_y}{4 \cdot C \cdot \pi^2 \cdot E} \left(\frac{L}{K} \right)^2 \right]$$

di mana :

$$\sigma_y = \text{Yield Streng} = 710 \text{ Mpa}$$

$$L = \text{Panjang Screw} = 0,6 \text{ m}$$

K = Sudut girasi

$$K = \sqrt{\frac{dp}{4}} = \sqrt{\frac{0,014}{4}} = 0,0035$$

E = Modulus elastisitas = 210 Gpa

A = Luas penampang = 0,000132 m²

C = Faktor penyangga = 4

maka :

$$W_{max} = Ax \sigma_y \left[1 - \frac{\sigma_y}{4 \cdot C \cdot \pi^2 \cdot E} \left(\frac{L}{K} \right)^2 \right]$$

$$W_{max} = 0,000132 \text{ m}^2 \cdot 710$$

$$\times 10^6 \text{ N/m}^2 \left[1 \right.$$

$$\left. - \frac{710 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{4 \cdot 4 \cdot 3,14^2 \cdot 210 \times 10^{11}} \left(\frac{0,6 \text{ m}}{0,0035 \text{ m}} \right)^2 \right]$$

$$W_{max} = 93720 \text{ N} \left[1 - \frac{710}{33128256} \right]$$

$$\times 45981,36 \left. \right]$$

$$W_{max} = 93720 \text{ N} [1 - 0,638]$$

$$W_{max} = 33926,6 \text{ N}$$

Karena bahan termasuk pada golongan steel dan beban yang terjadi termasuk pada kategori jenis bahan yang statis atau live load, maka faktor keamanan yang digunakan adalah 8, maka beban maksimal yang diijinkan pada *lead screw* adalah :

$$W_{ijin} = \frac{W_{max}}{\text{safety faktor}} = \frac{33926,6}{8}$$

$$= 4240,8 \text{ N}$$

$$= 0,0048 \text{ m}^2$$

• Perancangan Kontruksi Rangka

Perancangan adalah penentuan akhir ukuran yang dibutuhkan dan semua perincian elemen, batang dan sambungan-sambungan yang membentuk struktur sebagai satu keseluruhan dimana ketentuan konstruksi sesungguhnya dapat dikerjakan. Suatu alat harus dirancang sedemikian rupa sehingga mampu menahan tegangan maksimum yang berkaitan dengan beban yang terjadi, baik dalam lentur maupun geser. [6]

• Menghitung Kekuatan Linear Rod

Material yang digunakan adalah S45C dengan tegangan lentur 339 MPa , tegangan tarik $\sigma_t = 449 \text{ MPa}$, modulus elastisitas

$2 \times 10^5 \text{ MPa}$, panjang 500 mm , menopang rangka sumbu Y dengan berat massa $5,3 \text{ kg}$.

• **Menghitung Beban Pada Linear Rod**

Untuk pengujian beban pada *linear rod* diambil dari berat total masing-masing sumbu penggerak. Perhitungan beban yang terjadi pada *linear rod* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

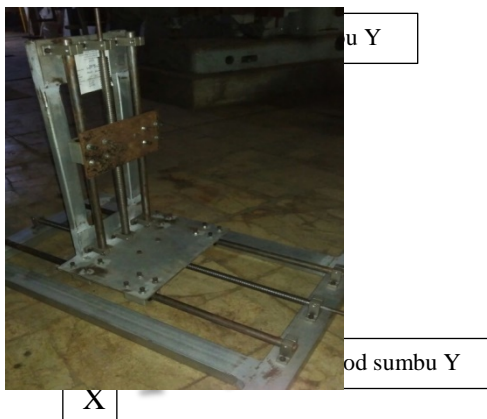
$$P = m \times g$$

di mana :

P = beban

m = massa benda

g = percepatan gravitasi



Gambar 4 Rangka Lengan Robot Tipe Cartesian Coordinate

Untuk beban sumbu X beban yang terjadi terdapat dari berat sumbu Y perhitungan beban yang terjadi pada *linear rod* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$P = m \times g$$

$$P = 5,3 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$P = 51,993 \text{ N}$$

Berdasarkan beban pada sumbu Y beban yang terjadi terdapat dari berat dudukan Y dan beban yang diangkat. Perhitungan beban yang terjadi pada *linear rod* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$P = m \times g$$

$$P = 1,5 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$P = 14,715 \text{ N}$$

• **Menghitung tegangan batang sumbu X dan sumbu Y**

1. Menghitung tegangan batang sumbu X dengan persamaan

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

di mana :

P = Beban pada sumbu Y

A = Luas penampang

maka :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{51,993 \text{ N}}{0,20 \text{ m}^2}$$

$$\sigma = 259,96 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma = 0,00254 \text{ MPa}$$

Menghitung tegangan ijin batang sumbu X :

$$\sigma_{ijin} = \frac{\sigma_t \text{ bahan}}{f}$$

$$= \frac{4,5 \times 10^7 \text{ N/m}^2}{15}$$

$$= 3 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$= 29,419 \text{ MPa}$$

Tegangan yang terjadi $0,00254 \text{ MPa} <$ tegangan ijin bahan $29,419 \text{ MPa}$ maka *linear rod* dianggap aman.

2. Mencari tegangan batang sumbu Y dengan persamaan

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

di mana :

P = Beban pada sumbu X

A = Luas penampang

maka :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{14,715 \text{ N}}{0,20 \text{ m}^2}$$

$$\sigma = 73,57 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma = 0,000721 \text{ MPa}$$

Menghitung tegangan ijin batang sumbu Y :

$$\sigma_{ijin} = \frac{\sigma_t \text{ bahan}}{f}$$

$$= \frac{4,5 \times 10^7 \text{ N/m}^2}{15}$$

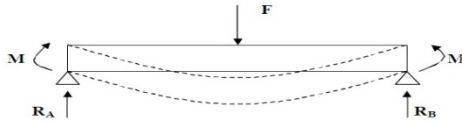
$$= 3 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$= 29,419 \text{ MPa}$$

Tegangan yang terjadi $0,000721 \text{ MPa} <$ tegangan ijin bahan $29,419 \text{ MPa}$ maka *linear rod* dianggap aman.

- **Defleksi**

Defleksi merupakan peristiwa melengkungnya suatu batang yang ditumpu akibat adanya beban yang bekerja pada batang tersebut, beban yang dimaksud dapat berupa beban dari luar ataupun daridalam karena pengaruh berat batang sendiri[7].



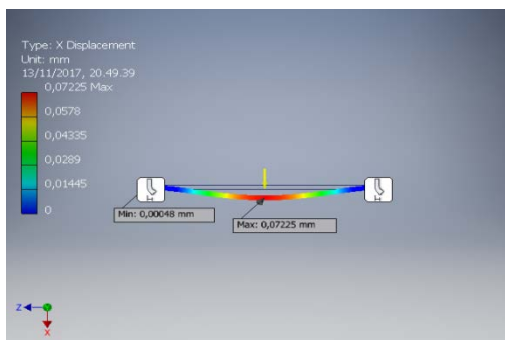
Gambar 5 Batang Yang Mengalami Defleksi[9]

- **Menghitung Defleksi Linear Rod Sumbu X**

Setelah data-data kita peroleh kita dapat menghitung defleksi maksimal linear rod pada sumbu X dengan menggunakan persamaan.

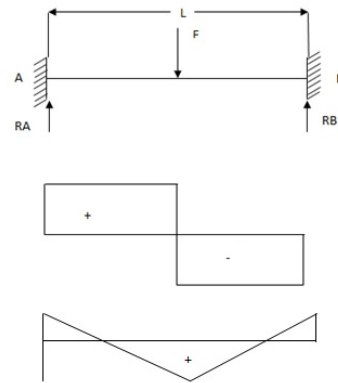
$$\begin{aligned}
 Y_{\max} &= \frac{F.L^3}{192 EI} \\
 &= \frac{(51,993 N) (500 mm)^3}{192 (2 \times 10^5 N/m^2) (3215 mm^4)} \\
 &= \frac{(51,993 N) (125 \times 10^6 mm^3)}{123456 \times 10^6 N/m^2} \\
 &= \frac{6499 Nmm^3}{123456 Nmm^2} \\
 &= 0,052 mm
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat dikatakan defleksi pada *linear rod* sumbu X sebesar 0,052 mm < validasi simulasi sebesar 0,072 mm. Berdasarkan perhitungan simulasi dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 6 Hasil Perhitungan Simulasi

Dari perhitungan yang didapat, maka bisa dijadikan gambar diagram sebagai berikut :



Gambar 7 Diagram Momen Dan Defleksi Linear Rod

- **Menghitung Gaya Lekukan / Buckling Pada Linear Rod Sumbu Y**

Untuk menghitung gaya lekukan pada sumbu Y menggunakan persamaan berikut .

$$Pcr = 4 \pi^2 . E . I$$

di mana :

Pcr = Beban kritis / gaya buckling (kg)

E = Modulus elastisitas bahan S45C

I = momen inersia (cm^4)

Karena momen inersia belum kita ketahui maka kita dapat menghitungnya dengan persamaan berikut.

$$I = \frac{\pi}{64} D^4$$

$$I = \frac{3,14}{64} (1,6 cm)^4$$

$$I = (0,05) (6,55 cm^4)$$

$$I = 0,3275 cm^4$$

Setelah momen inersia kita peroleh maka kita dapat menghitung gaya buckling dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Pcr = \frac{4 \pi^2 . E . I}{L^2}$$

$$Pcr = \frac{4 (3,14)^2 . (2 \times 10^5 N/mm^2) (0,3275 cm^4)}{50 cm^2}$$

$$Pcr = \frac{(39,4)^2 . (2 \times 10^6 kg/cm^2) (0,3275 cm^4)}{50 cm^2}$$

$$Pcr = \frac{25807000 kg/cm^2}{2500 cm^2}$$

$$Pcr = 10,322 kg$$

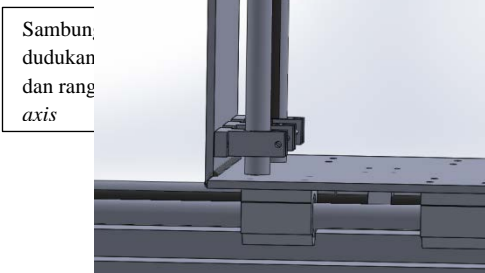
Berdasarkan perhitungan diatas dapat dikatakan gaya buckling pada *linear rod* sumbu Y adalah sebesar 10,322 kg. Perbandingan pada gaya backling < massa sumbu Y 14,715 maka kontruksi pada sumbu Y dianggap aman.

• **Menghitung Kekuatan Sambungan Las Pada Rangka**

Parameter yang digunakan dalam menghitung kekuatan sambungan las adalah sebagai berikut :

1. Dimensi sambungan :
 - Panjang lasan (*l*) : 20 mm
 - Lebar lasan (*s*) : 2 mm
2. Luas pengelasan (*A*) : 5,656 mm²
3. Logam lasan : E6013
4. Tegangan Tarik elektroda : 430 N/mm²
5. Tegangan geser elektroda : 379 N/mm²
6. Tegangan Tarik : 365 N/mm²
7. Tegangan lentur : 180 N/mm²

Faktor keamanan : 8 karena beban dan bahan diam



Gambar 8 Bagian Sambungan Las

• **Menghitung Tegangan Pada Sambungan Las**

Berdasarkan perhitungan-perhitungan diatas maka didapat beberapa data sebagai berikut :

- Beban yang diterima oleh dudukan sumbu X adalah $F = 51,993 \text{ N}$
- Luas area pengelasan $A = 28,28 \text{ mm}^2$

• **Menghitung Tegangan Tarik**

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \frac{F}{A} \\ &= \frac{51,993 \text{ N}}{28,28 \text{ mm}^2} \\ &= 1,83 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

maka :

$$\sigma_{t \text{ ijin}} = \frac{\sigma_t \text{ lasan}}{\text{faktor keamanan}}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{430 \text{ N/mm}^2}{8} \\ &= 53,75 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

Tegangan tarik akibat pembebanan yaitu $1,83 \text{ (MPa)} <$ tegangan tarik ijin lasan yaitu $53,75 \text{ (MPa)}$, sehingga kekuatan lasa dikatakan aman.

• **Menghitung Tegangan Geser**

$$\begin{aligned} \sigma_g &= \frac{F}{A} \\ &= \frac{51,993 \text{ N}}{28,28 \text{ mm}^2} \\ &= 1,83 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

maka :

$$\begin{aligned} \sigma_{g \text{ ijin}} &= \frac{\sigma_g \text{ logam las}}{\text{faktor keamanan}} \\ &= \frac{379 \text{ N/mm}^2}{8} \\ &= 47,37 \text{ N/mm}^2 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

Tegangan geser akibat pembebanan yaitu $1,83 \text{ (MPa)} <$ tegangan geser ijin lasan yaitu $47,37 \text{ (MPa)}$, sehingga kekuatan las dianggap aman.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat diambil beberapa kesimpulan dari hasil yang diperoleh sebagai berikut :

1. Perhitungan yang dilakukan pada sistem penggerak :
 - a) Pada pemilihan motor telah di dapat motor *stepper* OMHT17-275 untuk motor penggerak pada sumbu X yang memiliki torsi 0,249 Nm, motor *stepper* OM5014-075 untuk motor penggerak pada sumbu Y yang memiliki torsi 0,235 Nm.
 - b) *Lead screw* mampu mengangkat beban maksimum yang diizinkan sebesar 4240,8 N, sehingga lead screw cukup aman.
 - c) Tegangan yang terjadi pada lead screw, tegangan tekan yang terjadi sebesar 3,9 MPa, tegangan lentur sebesar 0,028 Mpa, dan tegangan geser yang terjadi sebesar 3,3Mpa. Besarnya tegangan yang terjadi pada lead screw masih dibawah titik yield

- strenght dari bahan, maka lead screw cukup aman.
2. Perhitungan yang dilakukan pada kontruksi rangka :
 - a) Analisa pada linear rod pada sumbu Y dengan material S45C yang mendapat beban 51,993 N menimbulkan tegangan sebesar 0,00245 MPa < tegangan ijin bahan sebesar 29,419 MPa, serta defleksi sebesar 0,052 mm < hasil validasi simulasi *software* sebesar 0,072 mm, maka material dianggap aman. Analisa pada *linear rod* pada sumbu X dengan material S45C yang mendapat beban 14,715 N menimbulkan tegangan sebesar 0,000721 MPa < tegangan ijin bahan sebesar 29,419 MPa, serta gaya lekukan atau buckling pada sumbu Y adalah sebesar 10,322 kg. Besarnya nilai tegangan yang terjadi < tegangan ijin bahan, maka desain dapat dikatakan mampu menahan beban yang diberikan.
 3. Perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai kekuatan lasan. Dari perhitungan tegangan tarik yang terjadi sebesar 1,83 MPa < dari tegangan yang diizinkan sebesar 53,75 MPa , maka pengelasan dianggap aman. Dan nilai tegangan geser yang terjadi sebesar 1,83 MPa < dari tegangan yang diizinkan sebesar 47,37 MPa, maka pengelasan dianggap aman.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sutisna, S.,P., dan Subrata, I, D.,M., 2016. “*Pengendalian Manipulator Robot Pemanen Buah Dalam Greenhouse Menggunakan LabView*”. Aplikasi Mekanika dan Energi.Bogor.
- [2] Mujono.2009.”*Pembuatan Model Robot Untuk Material Handling Otomatis*”. Program Studi Diploma III Mesin Produksi Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- [3] Agustinus Purna Irawan. Januari 2007.”*Mekanika teknik*”, (*statika struktur*). Jurusan Teknik Mesins Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara.
- [4] E.P Popov Dan Zainul Astamar.1984.”*Mekanika (Mechanics Of Material)*”.Jakarta : Erlangga,.
- [5] Annas Andri Fatoni, 2015 “*Desain Pengujian Kinerja Lead Swcrew Jenis Square Thread Pada Mesin Cnc Milling 3 Axis Tipe Gantry*” Fakultas Teknik,Universitas Ibn Khaldun Bogor.
- [6] Graham E. 1990. “*Maintenance Welding, Prentice-Hall Inc: New Jersey*”.
- [7] Dwi Yuliaji.2016. “*Optimal Support Welding (JIG Las) Dan Pengelasan Header Box Finfan Coller Menggunakan Material Duplex S32205*”. Program magister teknik mesin universitas pancasila.