



## Perancangan dan Analisis FEA Alat Pengering Magot Tipe Microwave Conveyor

Didit Wijang Saputro<sup>1,\*</sup>, Ikhwan Taufik<sup>1</sup>, Tri Retno Setiyawati<sup>1</sup>, Arif Rahman Saleh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering and Industrial, Faculty of Engineering, Universitas Tidar

### INFO ARTIKEL

**Kata kunci:**

Larva BSF, microwave, conveyor, perancangan, analisis FEA

**Keywords:**

BSF larvae, microwave, conveyor, design, FEA analysis.

### ABSTRAK

Pengeringan dengan continuous microwave oven merupakan salah satu metode yang bisa diterapkan untuk mengeringkan larva Black Soldier Fly (BSF). Proses ini memanfaatkan radiasi gelombang mikro untuk menguapkan kandungan air dalam larva. Selain itu, penggunaan conveyor yang berjalan pada oven microwave sebagai media atau tempat diletakkannya larva BSF diharapkan dapat mempermudah proses produksi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perancangan dan analisis kekuatan struktur alat pengering larva BSF tipe continuous microwave oven yang dilakukan melalui software Solidworks. Simulasi analisis struktur thermal dengan menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA) untuk mengetahui kekuatan struktur pada alat tersebut. Spesifikasi alat pengering larva BSF tipe continuous microwave oven memiliki kapasitas 15 kg, daya input pemanasan 8 KW dan suhu 100°C. Dengan variasi waktu pemanasan 20, 30, dan 40 menit didapatkan kecepatan conveyor masing-masing variasi ke-1 yaitu 0,00259 m/s, variasi ke-2 yaitu 0,00177 m/s, dan variasi ke-3 yaitu 0,00133 m/s. Efisiensi daya magnetron yaitu 65 % dan efisiensi energi pengeringan yaitu 19%. Hasil analisis struktur thermal alat pengering larva BSF tipe continuous microwave oven berdasarkan simulasi didapatkan thermal stress dengan nilai tertinggi  $1,664 \times 10^8 \text{ Nm}^2$  dan nilai terendah  $6,226 \times 10^{-1} \text{ Nm}^2$ . Hasil simulasi displacement dengan nilai tertinggi  $1,8 \times 10^1 \text{ mm}$  dan nilai terendah  $1 \times 10^{-30} \text{ mm}$ . Hasil simulasi Safety factor yaitu 3,2. Sehingga dari hasil simulasi tersebut dapat dikatakan aman untuk dilanjutkan ke proses manufacturing.

### ABSTRACT

Drying with a continuous microwave oven is one method that can be applied to dry Black Soldier Fly (BSF) larvae. This process utilizes microwave radiation to evaporate the water content in the larvae. Furthermore, the use of a conveyor running within the microwave oven as a medium or platform for placing the BSF larvae is expected to simplify the production process. This study was conducted to determine the design and analysis of the structural strength of a continuous microwave oven-type BSF larva dryer using Solidworks software. Thermal structure analysis simulations using the Finite Element Analysis (FEA) method were carried out to determine the structural strength of the tool. The specifications of the continuous microwave oven-type BSF larva dryer have a capacity of 15 kg, a heating input power of 8 KW and a temperature of 100°C. With variations in heating time of 20, 30, and 40 minutes, the conveyor speeds were obtained for each variation 1, namely 0.00259 m/s, 2, namely 0.00177 m/s, and 3, namely 0.00133 m/s. The magnetron power efficiency is 65% and the drying energy efficiency is 19%. The results of the thermal structure analysis of the BSF larva dryer type continuous microwave oven based on the simulation obtained thermal stress with the highest value of  $1.664 \times 10^8 \text{ Nm}^2$  and the lowest value of  $6.226 \times 10^{-1} \text{ Nm}^2$ . The displacement simulation results with the highest value of  $1.8 \times 10^1 \text{ mm}$  and the lowest value of  $1 \times 10^{-30} \text{ mm}$ . The Safety factor simulation results are 3.2. So from the simulation results it can be said that it is safe to continue to the manufacturing process.

Received: 22-05-2025

Revised: 28-07-2025

Online published: 30-09-2025

### 1. Latar Belakang

Larva Black Soldier Fly (BSF) dengan kandungan nutrisinya yang banyak digunakan sebagai salah satu bahan pakan pilihan peternak unggas dan pembudidaya ikan di antara bahan baku pakan alternatif yang ada. Maggot memiliki siklus hidup kurang lebih 40 hari [1], sehingga dapat dibudidayakan dalam waktu yang cepat serta dalam jumlah yang banyak untuk memenuhi kebutuhan pakan ternak. Selain itu maggot

dapat diproses menjadi maggot kering. Maggot kering memiliki kandungan protein  $36,4 \pm 5 \%$  sedangkan maggot basah  $10,2 \pm 1 \%$  [2]. Dengan demikian, maggot dapat menjadi salah satu bahan baku pengembangan pakan ternak berbasis protein dari serangga [3].

Penelitian mengenai pengeringan maggot menggunakan oven tipe rak [4]. Penelitian ini berisi kinerja performa oven

\* Corresponding author. E-mail address: [didit.wijang.saputro@students.untidar.ac.id](mailto:didit.wijang.saputro@students.untidar.ac.id)



tipe rak pada larva BSF yang menggunakan PTC sebagai pemanas. Alat pengering maggot berbentuk *rotary dryer* [5]. Penelitian ini berisi rancangan alat sangrai maggot dengan tipe *rotary* untuk mengeringkan larva BSF yang menggunakan tungku pembakaran sebagai pemanas. Selain metode pengeringan tersebut, pengeringan dengan *continuous microwave oven* juga dapat diterapkan, seperti yang dilakukan [6] dengan memanfaatkan gelombang mikro untuk menguapkan kandungan air dalam larva. Penggunaan *continuous microwave oven* ini diharapkan mampu mempercepat proses produksi. Selain itu, *conveyor* yang berjalan di dalam *oven microwave* sebagai media atau tempat diletakkannya larva BSF diharapkan dapat mempermudah proses produksi. Berdasarkan pertimbangan tersebut, *continuous microwave oven* dipilih sebagai alat pengering dalam penelitian ini. Pada saat ini sebagian besar produksi alat pengering larva BSF tipe *continuous microwave oven* dengan nilai dehidrasi yang cukup besar sekitar 15-50 kg/jam dan dengan daya 20-150 KW [7]. Hal ini dapat menjadi alternatif untuk membuat desain alat skala lebih kecil karena kebutuhan pengeringan yang lebih efisien dan sesuai dengan kapasitas pembudidaya ternak. Alat ini dapat menurunkan kadar air maggot secara optimal dengan daya dan waktu yang efisien. Menambahkan sistem ventilasi untuk mengeluarkan uap panas, serta penambahan kipas pendingin untuk menurunkan suhu setelah dipanaskan. Dalam hal ini, untuk merealisasikan alat tersebut dilakukan sebuah proses perancangan. Untuk memulai proses perancangan suatu alat agar bisa memberikan hasil yang maksimal yaitu dilakukan dengan membuat desain dan analisis struktur *thermal*.

Dalam pengembangan produk, uji kekuatan struktur *thermal* sangat penting untuk memastikan bahwa produk yang diproduksi dapat bertahan dalam kondisi pengoprasian. Penelitian mengenai analisis struktur *thermal* yang dilakukan oleh [8] yang menjelaskan distribusi tegangan statis dan *thermal* piston mesin pembakaran menggunakan *software Autodesk Inventor*, dengan pembuatan model desain menggunakan *software Solidworks*. Analisis ini untuk mengetahui ketahanan produk dalam kondisi pengoprasian dan memperbaiki desain atau memilih material yang lebih cocok sebelum melakukan produksi massal. Simulasi uji kekuatan struktur *thermal* pada *Solidworks* juga dapat membantu menghemat biaya dan waktu produksi dengan menghindari pengujian fisik yang mahal dan memakan waktu.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tahapan perancangan dan analisis struktur *thermal* alat pengering larva BSF tipe *continuous microwave oven* dan mengetahui konsep perancangan. Penelitian ini akan menggunakan simulasi desain dengan variasi pada parameter waktu pemrosesan.

## 2. Metodologi Penelitian

### 2.1. Data Awal

Untuk memulai sebuah penelitian dibutuhkan data awal sebagai acuan. Data awal penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data awal penelitian

Data	Keterangan
Kapasitas alat	15 kg
Moisture content Fresh Larve	76,5 ± 3 %
Moisture content Dried Larve	2,6 ± 0.8 %
Waktu pengeringan	20 menit (variasi ke-1) 30 menit (variasi ke-2) 40 menit (variasi ke-3)
Suhu pengeringan	100°C
Jumlah magnetron	8 (1 KW 2,45 GHz)

### 2.2. Menghitung Larva Black Soldier Fly (BSF)

*Black Soldier Fly* (BSF) merupakan spesies lalat yang berasal dari benua Amerika yang dapat hidup dengan baik pada iklim tropis [9]. Dengan penguapan air, nutrisi yang tersisa dalam larva BSF menjadi lebih pekat. Larva BSF kering memiliki kandungan protein yang lebih tinggi dibandingkan dengan larva segar [10]. Parameter kualitas untuk larva BSF segar dan kering ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter kualitas untuk larva BSF segar dan kering [10]

Quality Parameters	Fresh larve	Dried larve
Protein	10,2 ± 1 %	36,4 ± 5 %
Moisture content	76,5 ± 3 %	2,6 ± 0.8 %
Water activity	0,9 ± 0 %	0,4 ± 0.1 %

Mengenai kepadatan larva BSF, [11] menyarankan kepadatan optimum 1,2 larva/cm<sup>2</sup> untuk substrat padat, dengan kepadatan maksimum yang dapat ditoleransi sebesar 5 larva/cm<sup>2</sup>. Sedangkan ketebalan larva BSF pada umur 15 hari yaitu 0,43 cm dan massa yaitu 0,1549 gram [12].

Dari data kepadatan, ketebalan, dan massa larva BSF di atas dapat dihitung jumlah, volume, dan massa jenis larva BSF dengan persamaan di bawah ini:

Jumlah larva BSF dalam 1 cm<sup>3</sup> dapat dihitung melalui persamaan 1.

$$N = n_s \times \frac{V}{d} \quad (1)$$

Volume satuan larva BSF dapat dihitung melalui persamaan 2.

$$V = \frac{N}{n} \quad (2)$$

Massa jenis larva BSF dapat dihitung melalui persamaan 3.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3)$$

Keterangan:  $n_s$  = jumlah persatuan luas (partikel/m<sup>2</sup>),  $n$  = jumlah persatuan volume (partikel/m<sup>3</sup>),  $\rho$  = massa jenis (kg/m<sup>3</sup>),  $V$  = volume (m<sup>3</sup>),  $d$  = tebal (m),  $N$  = jumlah,  $m$  = massa (kg).

### 2.3. Menghitung Dimensi Alat

Dari massa total larva BSF, massa satuan larva BSF, volume satuan larva BSF dapat dihitung dimensi alat yang dibutuhkan dengan persamaan dibawah ini:

Jumlah total larva BSF dapat dihitung melalui persamaan 4.

$$N = \frac{m_{total}}{m} \quad (4)$$

Volume total larva BSF dapat dihitung melalui persamaan (5).

$$V_{total} = N \times V \quad (5)$$

Luas total jika 2 tumpuk larva BSF dapat dihitung melalui persamaan 6.

$$V_{total} = p \times l \times t \quad (6)$$

$$V_{total} = p \times l \times (2 \times d)$$

Dimensi conveyor yang dipilih dapat dihitung melalui persamaan 7.

$$p \times l = A \quad (7)$$

Keterangan: N = jumlah, m = massa (kg), V = volume (m<sup>3</sup>), d = tebal (m), p = Panjang (m), l = lebar (m), A = luas (m<sup>2</sup>)

### 2.4. Menghitung pengeringan

Pengeringan atau dehidrasi merupakan proses mengurangi kadar air dalam bahan pangan dengan cara menguapkan sebagian besar air yang terkandung di dalamnya melalui pemberian energi panas. Kandungan air dalam bahan sangat memengaruhi kecepatan proses pengeringan, di mana semakin rendah kadar air, maka proses pengeringan akan berlangsung lebih cepat [13].

Persentase penurunan kadar air dapat dihitung melalui persamaan 8.

$$MC = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (8)$$

Keterangan: MC = Penurunan bobot air (%), m<sub>1</sub> = massa awal (kg), m<sub>2</sub> = massa akhir (kg).

Dalam proses pengeringan perlu menghitung kalor yang dibutuhkan pada proses pengeringan dengan menghitung massa uap air, kemudian menghitung laju penguapan air, kemudian menghitung kebutuhan energi total untuk pengeringan larva BSF.

Massa uap air dapat dihitung melalui persamaan 9.

$$m_{uap} = m_1 - m_2 \quad (9)$$

Keterangan: m<sub>1</sub> = massa awal (kg), m<sub>2</sub> = massa akhir(kg), m<sub>uap</sub> = massa uap air (kg)

Laju penguapan air larva BSF pada ruang microwave dapat dihitung melalui persamaan 10.

$$\dot{m} = \frac{m_{uap}}{t} \quad (10)$$

Keterangan: m' = laju penguapan air (kg/jam), m<sub>uap</sub> = massa uap air (kg), t = waktu (jam)

Kebutuhan Energi total (Q<sub>t</sub>) untuk pengeringan larva BSF dapat dihitung melalui persamaan 11.

$$Q_t = Q_s + Q_w + Q_{fg} \quad (11)$$

Jumlah panas yang digunakan untuk memanaskan bahan (Q<sub>s</sub>) dapat dihitung melalui persamaan 12.

$$Q_s = m_k \times Cp_m \times \Delta T \quad (12)$$

Massa kering (m<sub>k</sub>) dapat dihitung melalui persamaan 13.

$$m_k = m_1 (100\% - MC_1) \quad (13)$$

Jumlah panas yang digunakan untuk meningkatkan suhu air yang ada dalam material (Q<sub>w</sub>) dapat dihitung melalui persamaan 14.

$$Q_w = m_b \times Cp_w \times \Delta T \quad (14)$$

Jumlah panas yang digunakan untuk menguapkan air dalam material (Q<sub>fg</sub>) dapat dihitung melalui persamaan 15.

$$Q_{fg} = m_b \times Hfg \quad (15)$$

Massa basah (m<sub>b</sub>) dapat dihitung melalui persamaan 16.

$$m_b = m_1 - m_2 \quad (16)$$

Panas laten (Hfg) dapat dihitung melalui persamaan 17.

$$Hfg = 2,51 - (2,361 \times 10^{-3}) \times T \quad (17)$$

Keterangan: Hfg = panas laten (KJ/kg), Cp<sub>m</sub> = panas spesifik bahan (KJ/kg<sup>o</sup>K), Cp<sub>w</sub> = panas spesifik air (kJ/kg<sup>o</sup>K), Q<sub>s</sub> = panas untuk meningkatkan suhu bahan (KJ), Q<sub>w</sub> = panas untuk meningkatkan suhu air (KJ), Q<sub>fg</sub> = panas untuk menguapkan air (KJ), Q<sub>t</sub> = panas total (KJ), m<sub>1</sub> = massa awal (kg), m<sub>2</sub> = massa akhir (kg), m<sub>b</sub> = massa kandungan air (kg), m<sub>k</sub> = massa kandungan kering(kg), ΔT = perbedaan suhu (°K), T = suhu bahan (°C)

Daya yang dibutuhkan dapat dihitung melalui persamaan 18.

$$P = \frac{Q}{t} \quad (18)$$

Keterangan: Q = energi (J), t = waktu (s)

Efisiensi pengeringan pengeringan larva BSF dapat dihitung melalui persamaan 19.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (19)$$

Keterangan:  $\eta$  = efisiensi (%),  $P_{out}$  = Daya keluar (W),  $P_{in}$  = Daya masuk (W)

## 2.5. Menghitung conveyor

*Belt conveyor* merupakan sistem pengangkut material yang digunakan untuk memindahkan bahan dalam bentuk satuan maupun curah (tumpahan), baik secara *horizontal* maupun pada kemiringan tertentu (*inklinasi*). Sistem ini banyak digunakan dalam proses produksi karena kemampuannya dalam mengangkut material secara kontinu dan efisien. [14].

Dalam menentukan jarak *idler* pembawa, kita harus memperhitungkan bebannya batasan *carry idler*. Setelah ketegangan sabuk tercapai, sabuk harus melorot di antara *roller idler*. Berdasarkan buku DUNLOP nilai jarak *idler* telah ditentukan [15]. Pada sisi pembawa (*Carrying idler*) untuk instalasi kecil sebagai berikut:

Nilai jarak *idler* telah ditentukan. Pada sisi pembawa (*Carrying idler*) untuk instalasi kecil dapat dihitung melalui persamaan 20.

$$l_0 = 0.5 - 1.0 \text{ m} \quad (20)$$

Kemudian pada sisi balik (*return side*) dapat dihitung melalui persamaan 21.

$$l_u = (2 - 3) \times l_0 \quad (21)$$

Panjang *belt conveyor* dapat dihitung melalui persamaan 22.

$$L = 2s + 2\pi r \quad (22)$$

Keterangan:  $L$  = panjang *belt conveyor* (m),  $s$  = jarak antar poros (m),  $r$  = jari-jari (m)

Kecepatan *linear conveyor* dapat dihitung melalui persamaan 23.

$$v = \frac{s}{t} \quad (23)$$

Keterangan:  $v$  = kecepatan (m/s),  $s$  = jarak (m),  $t$  = waktu (s)

Kecepatan sudut *pulley conveyor* dapat dihitung melalui persamaan 24.

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (24)$$

Kecepatan putar *pulley conveyor* dapat dihitung melalui persamaan 25.

$$n = \frac{\omega \times 60}{2\pi} \quad (25)$$

Keterangan:  $r$  = jari-jari (m),  $v$  = kecepatan (m/s),  $\omega$  = kecepatan sudut (rad/s),  $n$  = kecepatan putaran (rpm)

Gaya yang dibutuhkan *conveyor* dapat dihitung melalui persamaan 26.

$$F = m \times g \quad (26)$$

Torsi yang dibutuhkan *conveyor* dapat dihitung melalui persamaan 27.

$$\tau = F \times r \quad (27)$$

Daya yang dibutuhkan *conveyor* dapat dihitung melalui persamaan 28.

$$P = \tau \times \omega \quad (28)$$

Keterangan:  $m_{total}$  = massa total (kg),  $g$  = gravitasi ( $m/s^2$ ),  $F$  = gaya (N),  $r$  = jari-jari (m),  $\tau$  = torsi (Nm),  $P$  = daya (W),  $\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)

## 2.6. Menghitung Motor Listrik

Alat ini juga dilengkapi dengan motor listrik yang berfungsi untuk menggerakkan conveyor selama proses pengoperasian. Motor listrik yang digunakan memiliki tingkat kecepatan yang dapat disesuaikan sesuai kebutuhan percobaan. Pemilihan motor tersebut telah disesuaikan dengan karakteristik dan spesifikasi sistem yang dirancang. Daya yang dibutuhkan motor dapat dihitung melalui persamaan 29.

$$P_d = f_c \times P \quad (29)$$

Keterangan:  $P_d$  = daya rencana (W),  $P$  = daya motor (W),  $f_c$  = faktor koreksi

## 2.7. Menghitung transmisi

Transmisi *gearbox* merupakan komponen mekanis yang berfungsi untuk mengubah dan meneruskan daya dari mesin penggerak, dengan cara mengatur perbandingan (rasio) putaran. Rasio ini memungkinkan *gearbox* untuk meningkatkan atau menurunkan putaran (rpm) yang dihasilkan oleh dinamo atau motor, sesuai kebutuhan sistem. Rasio *gearbox* yang dibutuhkan dapat dihitung melalui persamaan 30.

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (30)$$

Keterangan:  $n_1$  = kecepatan putaran input (rpm),  $n_2$  = kecepatan putaran output (rpm),  $i$  = rasio gearbox

## 2.8. Menghitung poros

Fungsi utama poros *roller (shaft)* adalah mentransmisikan daya atau gerakan rotasi dari satu komponen ke komponen lain. Poros ini juga dapat berfungsi untuk menahan beban dan menjaga stabilitas komponen yang dipasangnya, terutama dalam *conveyor* dan sistem transmisi [15].

Daya poros dapat dihitung melalui persamaan 31.

$$Pd = P \times Fc \quad (31)$$

Keterangan: P = daya motor (rpm), Fc = faktor koreksi

Torsi input dapat dihitung melalui persamaan 32.

$$T_1 = \frac{30 \times Pd}{\pi \times n} \quad (32)$$

Keterangan: Pd = daya poros (W), n = kecepatan putar (rpm)

Torsi output dapat dihitung melalui persamaan 33.

$$T_o = \frac{n_1}{n_2} \times T_1 \quad (33)$$

Keterangan:  $n_1$  = kecepatan putaran input (rpm),  $n_2$  = kecepatan putaran output (rpm),  $T_1$  = torsi input (Nm)

Tegangan ijin poros dapat dihitung melalui persamaan 34.

$$\sigma_{all} = \frac{\sigma_T / sf}{2} \quad (34)$$

Keterangan:  $\sigma_T$  = tegangan tarik ( $N/mm^2$ ), sf = safety factor

Diameter poros dapat dihitung dengan persamaan 35.

$$\frac{T_o}{W_p} \leq \sigma_{all} \quad (35)$$

Keterangan:  $T_o$  = torsi output (Nmm),  $\sigma_{all}$  = tegangan ijin ( $N/mm^2$ )

## 2.9. Menghitung bearing

Bearing, yang juga dikenal sebagai laher atau bantalan, adalah elemen mesin yang berfungsi untuk mengurangi gesekan dan menopang poros atau komponen yang berputar. Bearing membantu memastikan gerakan rotasi atau linear antar komponen mesin berlangsung dengan lancar, aman, dan tahan lama. Lifetime bearing roller pulley drum dapat dihitung melalui persamaan 36.

$$L_{10} = \frac{(C/P)^e \times 10^6}{60 \times n} \quad (36)$$

Keterangan: C = beban dinamis (kg), P = beban statis (kg), e = nilai untuk brentuk slinder (3,3), n = kecepatan putar (rpm)

## 2.10. Menghitung pendinginan

Pendinginan yang digunakan pada alat ini adalah pendinginan menggunakan axial fan. Axial fan adalah kipas yang digunakan untuk menurunkan suhu larva BSF setelah proses pengeringan atau setelah keluar dari oven microwave.

Untuk mengetahui jumlah axial fan yang dibutuhkan dengan Menghitung Energi perpindahan panas yang dibutuhkan, kemudian menghitung kapasitas aliran udara yang dibutuhkan, setelah itu mencari axial fan dengan kapasitas aliran udara yang sesuai. Energi perpindahan panas yang dibutuhkan dapat dihitung melalui persamaan 37.

$$Q = m \times Cp \times \Delta T \quad (37)$$

Daya yang dibutuhkan dapat dihitung melalui persamaan 38.

$$P = \frac{Q}{t} \quad (38)$$

Keterangan:  $T_1$  = suhu awal ( $^{\circ}K$ ),  $T_2$  = suhu akhir ( $^{\circ}K$ ), m = massa (kg), Cp = panas spesifik ( $J/kg^{\circ}K$ ), Q = energi (J), P = daya (W)

Kapasitas aliran udara yang dibutuhkan dapat dihitung melalui persamaan 39.

$$\text{Kapasitas aliran udara} = \frac{P}{\rho_u \times Cp_u \times \Delta T} \quad (39)$$

Keterangan: P = daya (W),  $\rho_u$  = massa jenis udara ( $kg/m^3$ ),  $Cp_u$  = panas spesifik udara ( $J/kg^{\circ}K$ ),  $\Delta T$  = perbedaan suhu ( $^{\circ}K$ )

Jumlah axial fan yang dibutuhkan dapat dihitung melalui persamaan 40.

$$N = \frac{\text{Kapasitas aliran udara total}}{\text{Kapasitas aliran udara axial fan}} \quad (40)$$

Keterangan: N = jumlah

## 2.11. Menghitung hopper

Hopper adalah bagian yang digunakan untuk tempat masuknya bahan baku sebelum terjadinya proses pengeringan. Komponen ini berfungsi untuk memindahkan bahan dan distribusi material ke mesin atau proses selanjutnya. Perhitungan kapasitas hopper bisa dihitung dengan persamaan berikut:

Volume hopper dapat dihitung melalui persamaan 41.

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (41)$$

Keterangan:  $\rho$  = massa jenis ( $kg/m^3$ ), m = massa (kg), V = volume ( $m^3$ )

Dimensi hopper berbentuk prisma dapat dihitung melalui persamaan 42.

$$V = \left(\frac{1}{2} \times (a + b) \times t\right) \times h \quad (42)$$

Keterangan: h = lebar (cm), a = panjang sisi atas (cm), b = panjang sisi bawah (cm), t = tinggi (cm), V = volume ( $m^3$ )

## 2.12. Menghitung baut

Baut dan mur merupakan suatu elemen mesin yang berfungsi untuk menyambung dua buah elemen mesin dengan sambungan yang dapat dilepas. Terdapat berbagai macam tipe baut dan mur tergantung pada penggunaannya [16]. Tipe-tipe mur dapat dibedakan diantaranya Baut kepala heksagonal, Baut U, dan Baut tanam.

Dalam perencanaan sambungan mur baut pada perancangan diperlukan hitungan diameter dalam ulir baut halus yang dapat dihitung melalui persamaan 43.

$$d \geq \sqrt{\frac{4W_d}{\pi\tau_a}} \quad (43)$$

Keterangan:  $W_d$  = beban (kg),  $\tau_a$  = tegangan geser ( $\text{kg/mm}^2$ )

## 2.13. Menentukan material

### 2.13.1 PTFE

PTFE digunakan sebagai material *belt conveyor*. pada alat pengering larva BSF tipe *continuous microwave oven*.

### 2.13.2 Stainless steel AISI 304

*Stainless steel AISI 304* digunakan sebagai material pada ruang pendinginan, dan *hopper* pada alat pengering larva BSF tipe *continuous microwave oven*. *Stainless steel AISI 304* merupakan jenis baja tahan karat yang mengandung unsur kromium (18–20%) dan nikel (8–10,5%) sebagai unsur paduan utama selain besi. Material ini dipilih karena memiliki beberapa keunggulan, antara lain konduktivitas *termal* yang baik, ketahanan tinggi terhadap korosi, serta kemudahan dalam proses fabrikasi dan pembentukan [17].

### 2.13.3 ASTM A36

*ASTM A36* merupakan plat baja struktural karbon yang memiliki kekuatan yang baik. Plat baja *ASTM A36* memiliki sifat baja yang bisa dirubah bentuk menggunakan mesin dan juga dilakukan pengelasan. Plat baja *ASTM A36* juga dapat dilakukan pelapisan galvanisasi maupun penambahan lapisan khusus untuk memberikan ketahanan terhadap korosi [18]. Plat baja *ASTM A36* digunakan untuk material rangka pada alat pengering larva BSF tipe *continuous microwave oven*.

## 2.14 Finite Element Analysis (FEA)

*Finite Element Analysis (FEA)* merupakan teknik numerik yang dimanfaatkan untuk mengevaluasi dan memperkirakan respons suatu struktur terhadap gaya atau beban tertentu [19]. Teknik ini bekerja dengan membagi objek kompleks menjadi elemen-elemen kecil dan sederhana, seperti elemen segitiga atau persegi, lalu menerapkan hukum fisika untuk merepresentasikan karakteristik material serta interaksi antar elemen [20].

## 2.15. Pengujian analisis struktur

### 2.15.1 Von Mises Stress

Tegangan *Von Mises* menunjukkan besarnya gaya per satuan luas pada suatu material dengan satuan Megapascal (MPa). *Von Mises Stress* dapat didapatkan dengan perhitungan manual dan dengan *software Solidworks*.

### 2.15.2 Displacement

*Displacement* merupakan perubahan bentuk pada benda yang dikenai gaya. Ketika sebuah material dikenai uji tarik dengan beban tertentu, material tersebut akan mengalami pertambahan panjang sesuai dengan sifat elastis maupun plastisnya (Suryady & Nugroho, 2022)

### 2.15.3 Safety Factor

Setelah diperoleh nilai tegangan *von Mises*, langkah selanjutnya adalah menghitung *Factor of Safety (FOS)*. Apabila nilai *FOS* kurang dari 1, maka produk tersebut dikategorikan tidak aman untuk digunakan atau diproduksi, sehingga diperlukan perbaikan atau modifikasi desain. Sebaliknya, jika nilai minimum *FOS* lebih dari 1, maka produk dapat dikatakan aman dan layak digunakan, serta memiliki kualitas struktural yang baik. *Safety factor* dapat didapatkan dengan perhitungan manual dan dengan *software Solidworks* [21].

Nilai numerik dari faktor keamanan yang direkomendasikan, berdasarkan berbagai parameter dan tingkat ketidakpastian, disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Faktor keamanan berdasarkan parameter [22]

No	Faktor keamanan disarankan	Parameter dan tingkat ketidakpastian
1	1,25 - 2	Beban statis
2	2 - 3	Beban dinamis
3	3 - 5	Beban kejut

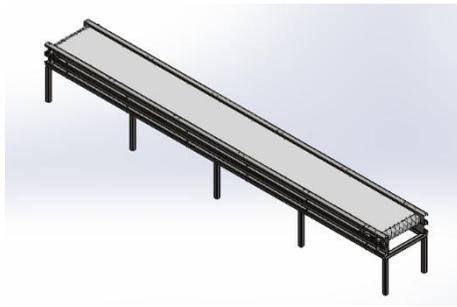
## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Hasil Perhitungan

Untuk menentukan komponen yang akan digunakan dalam perancangan diperlukan sebuah perhitungan. Hasil perhitungan perancangan didapatkan sebagai berikut:

#### 3.1.1 Sistem conveyor

Sistem *conveyor* berfungsi sebagai tempat Bergeraknya pemanasan larva BSF. Sistem *conveyor* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain sistem conveyor

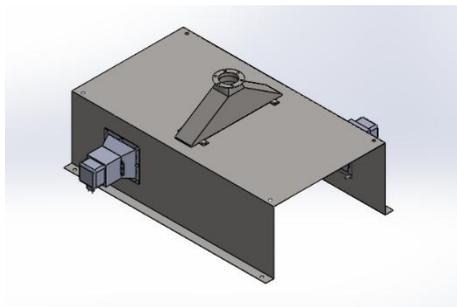
Sistem conveyor terdiri dari meja conveyor, chassis conveyor, roller drive, roller idler, belt conveyor, dan bearing. Conveyor ini digerakan dengan sebuah motor yang dilengkapi gearbox. Hasil dari perhitungan sistem conveyor dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan sistem conveyor

Parameter	Variasi ke-1	Variasi ke-2	Variasi ke-3
Kecepatan linear	0,00259 m/s	0,00177 m/s	0,00133 m/s
Diameter poros	25,29 mm	28,57 mm	31,65 mm
Lifetime bearing	15.590 jam	22.469 jam	30.557 jam

3.1.2 Sistem Pemanasan

Sistem pemanasan berfungsi untuk menurunkan kandungan air dan mengeringkan larva BSF. Sistem pemanasan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain sistem pemanasan

Sistem pemanasan terdiri dari ruang pemanas, magnetron, waveguide, lapisan microwave, dan saluran hopper penguapan. Hasil dari perhitungan sistem pemanasan dapat dilihat pada Tabel 5.

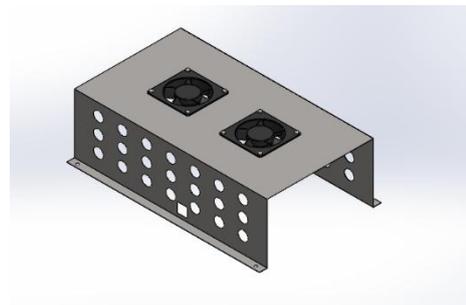
Tabel 5. Hasil perhitungan sistem pemanasan

Parameter	Variasi ke-1	Variasi ke-2	Variasi ke-3
Waktu pengeringan	20 menit	30 menit	40 menit
Suhu pengeringan	100°C	100°C	100°C

Laju pengeringan	26,8 kg/jam	17,7 kg/jam	13,4 kg/jam
Daya input magnetron	8 KW	8 KW	8 KW
Daya output magnetron	5,2 KW	5,2 KW	5,2 KW
Efisiensi daya magnetron	65 %	65 %	65 %
Energi output magnetron	1,73 KWh	2,6 KWh	3,4 KWh
Energi pengeringan	0,33 KWh	0,5 KWh	0,66 KWh
Efisiensi energi pengeringan	19 %	19 %	19 %

3.1.3 Sistem Pendinginan

Sistem pendinginan berfungsi untuk menurunkan suhu larva BSF setelah pemanasan. Sistem pendinginan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain sistem pendingin

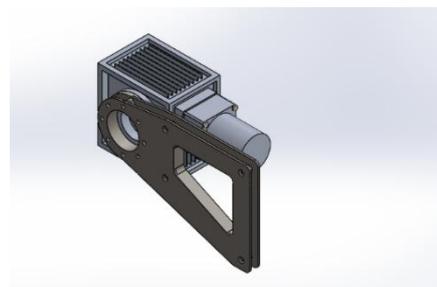
Sistem pendinginan terdiri dari ruang pendingin dan axial fan. Hasil dari perhitungan sistem pendingin dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil perhitungan sistem pendinginan

Parameter	Variasi ke-1	Variasi ke-2	Variasi ke-3
Laju aliran udara	174 cfm	132 cfm	99 cfm
Jumlah axial fan	2	1	1

3.1.4 Sistem Penggerak

Sistem penggerak berfungsi untuk menggerakkan sistem conveyor. Sistem penggerak ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Desain sistem penggerak

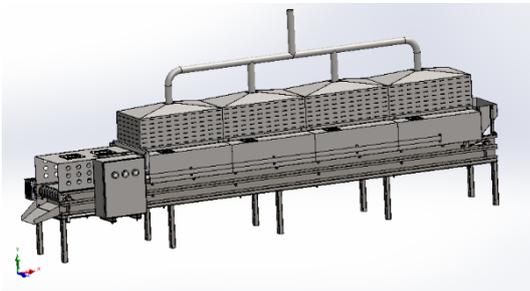
Sistem penggerak terdiri dari dudukan *gearbox*, *gearbox*, dan motor penggerak. Pada sistem penggerak ini terdapat 2 *gearbox*. Hasil dari perhitungan sistem penggerak dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil perhitungan sistem penggerak

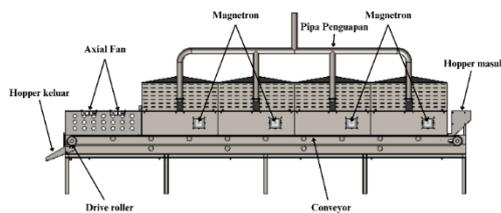
Parameter	Variasi ke-1	Variasi ke-2	Variasi ke-3
Daya motor	6 W	6 W	6 W
Rpm motor	1.400 rpm	1.400 rpm	1.400 rpm
Rasio <i>gearbox</i> 1	1 : 100	1 : 100	1 : 100
Rasio <i>gearbox</i> 2	1 : 30	1 : 40	1 : 50

### 3.2 Konsep desain

Konsep desain dari alat *continuous microwave oven* dibuat menggunakan *software* Solidworks. Konsep desain ini merupakan desain *assembly* yang merupakan penggabungan dari beberapa desain part. Konsep desain alat *continuous microwave oven* tampak kanan atas dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Konsep desain alat *continuous microwave oven*



Gambar 6. Konsep desain alat *continuous microwave oven section view*

Konsep desain alat *continuous microwave oven* terdiri dari beberapa komponen penyusun. Komponen-komponen yang dibuat dalam perancangan alat *continuous microwave oven* dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Komponen yang dibutuhkan dalam perancangan alat

Komponen	Jumlah	Spesifikasi
Motor penggerak	1	6 W, 1.400 rpm
<i>Gearbox</i>	1	Rasio 1:100
<i>Gearbox</i>	1	Rasio 1:30
<i>Axial fan</i>	2	100 cfm (6 Inch)
<i>Axial fan</i>	8	100 cfm (4 Inch)

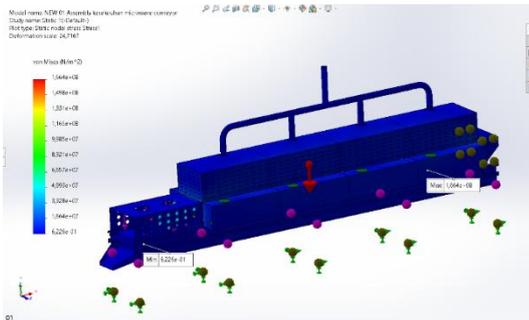
<i>Magnetron</i>	8	1 KW, 2,45 GHz
Trafo <i>magnetron</i>	8	1 KW, 220V-240V 50 Hz
<i>Roller pulley drum</i>	2	D = 100 mm, P = 400 mm
<i>Bearing pulley drum</i>	2	<i>Bearing</i> tipe 6006 CM
<i>Roller idler roller</i>	12	D = 50 mm, P = 400 mm
<i>Bearing idler roller</i>	12	<i>Bearing</i> tipe 6901 ZZ
Poros <i>roller pulley drum</i>	2	D = 30 mm, P = 500 mm
Baja CNP	4	100×50×2,3 mm
Plat	-	AISI 1045 cold drawn Tebal 1 mm
Plat	-	Plat AISI 304 Tebal 1 mm
<i>Profile hollow</i>	-	Hollow ASTM A36 40×40×2 mm
<i>Profile hollow</i>	-	Hollow ASTM A36 20×20×1 mm
Pipa	-	Pipa AISI 304 D = 2 inch, tebal 1 mm
<i>Belt conveyor</i>	-	PTFE, P = 8m, L = 420mm
<i>Box panel</i>	1	50 cm × 40 cm × 20 cm
Baut	88	M6 × 12mm
Baut	96	M6 × 20 mm
Baut	104	M8 × 20 mm
Baut	12	M8 × 40 mm
Baut	8	M8 × 60 mm
Baut	12	M10 × 20 mm
Baut	4	M10 × 40 mm
Baut	12	M10 × 60 mm
Baut	8	M12 × 30 mm
Baut	2	M12 × 120 mm

### 3.3 Hasil Finite Element Analysis (FEA)

Untuk melakukan simulasi FEA langkah pertama yaitu menentukan material yang akan digunakan pada alat *continuous microwave oven*. Pada proses pemilihan material dipilih yang sesuai akan kekuatan dari kondisi yang akan digunakan. Penentuan material pada *software* Solidworks pada pilihan *apply material*. Proses selanjutnya yaitu menentukan posisi titik tumpu yang tujuannya menjadi titik beban dari desain yang sudah dibuat. Pada penentuan titik tumpu terletak pada bagian bawah rangka yang akan menjadi titik beban pada simulasi. Proses selanjutnya yaitu menentukan posisi titik pembebanan pada model rangka yang akan diuji. Pada titik pembebanan akan diberikan beban massa larva BSF pada *belt conveyor* sebesar 15 kg dan beban thermal pada dinding ruang pemanasan sebesar 100°C. Proses selanjutnya yaitu *meshing* yang bertujuan untuk memecahkan geometri menjadi elemen-elemen kecil. Proses selanjutnya yaitu *running simulation*. Pada proses *running simulation* menghasilkan beberapa data seperti *thermal stress*, *displacement*, dan *safety factor*.

### 3.3.1 Analisis Thermal Stress

Pengujian *thermal stress* untuk mengetahui tegangan *thermal* dan memastikan di bawah nilai *yeild strength*. Hasil simulasi *thermal stress* ditunjukkan pada Gambar 7.

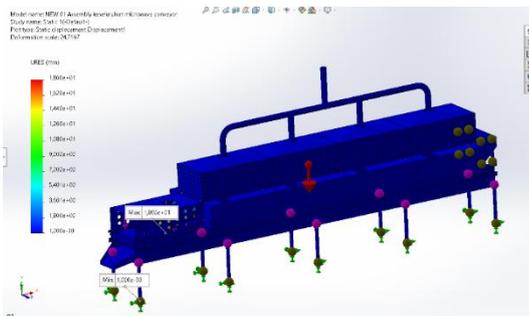


Gambar 7. Hasil analisis *thermal stress*

Berdasarkan simulasi *thermal stress* dengan nilai tertinggi  $1,664 \times 10^8 \text{ N/m}^2$  terjadi dibagian ruang pemanasan dan nilai terendah  $6,226 \times 10^{-1} \text{ N/m}^2$  terjadi dibagian rangka *conveyor*.

### 3.3.2 Analisis Displacement

Pengujian *displacement* untuk mengetahui pergeseran dan memastikan tidak melebihi batas toleransi. Hasil simulasi *displacement* ditunjukkan pada Gambar 8.

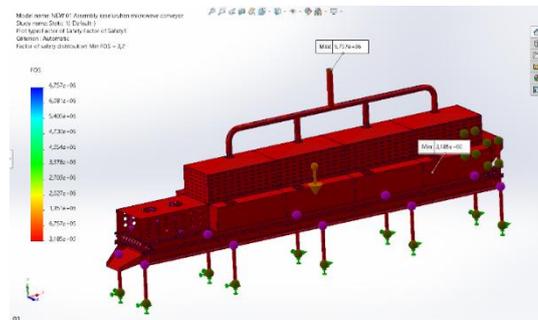


Gambar 8. Hasil analisis *displacement*

Hasil simulasi *displacement* dengan nilai tertinggi  $1,8 \times 10^1 \text{ mm}$  terjadi dibagian ruang pemanasan dan nilai terendah  $1 \times 10^{-30} \text{ mm}$  terjadi dibagian rangka *conveyor*.

### 3.3.3 Analisis safety factor

Pengujian *safety factor* untuk mengetahui faktor keamanan dan memastikan memenuhi faktor keamanan yang disarankan. Hasil simulasi *safety factor* ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil analisis *safety factor*

Hasil *Factor of Safety* (FOS) didapatkan nilai terendah 3,2 terjadi dibagian ruang pemanasan. Nilai yang disarankan untuk beban dinamis adalah nilai  $> 3$  atau di atas batas aman, sehingga desain aman untuk dilanjutkan pada proses *manufacturing*.

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil perancangan dan simulasi alat *continuous microwave oven* untuk pengeringan larva BSF dapat diambil kesimpulan. Cara kerja alat pengering larva BSF tipe *continuous microwave oven* yaitu larva BSF masuk melewati *hopper* kemudian bergerak pada *conveyor*. Sistem *conveyor* menggerakkan larva BSF secara kontinu melalui ruang pemanasan kemudian ruang pendinginan. Pada ruang pemanasan larva BSF terkena gelombang mikro dari *magnetron* yang berfungsi untuk memanaskan dan mengeringkan larva BSF. Selanjutnya larva BSF masuk ke ruang pendinginan yang berfungsi menurunkan suhu larva BSF setelah pemanasan dengan *axial fan*.

Spesifikasi alat pengering larva BSF tipe *continuous microwave oven* memiliki kapasitas 15 kg, daya *input* pemanasan 8 KW dan suhu  $100^\circ\text{C}$ . Dengan variasi waktu pemanasan 20, 30, dan 40 menit didapatkan kecepatan *conveyor* masing-masing variasi ke-1 yaitu  $0,00259 \text{ m/s}$ , variasi ke-2 yaitu  $0,00177 \text{ m/s}$ , dan variasi ke-3 yaitu  $0,00133 \text{ m/s}$ . Efisiensi daya *magnetron* yaitu 65 % dan efisiensi energi pengeringan yaitu 19%.

Hasil analisis struktur *thermal* alat pengering larva BSF tipe *continuous microwave oven* berdasarkan simulasi didapatkan *thermal stress* dengan nilai tertinggi  $1,664 \times 10^8 \text{ N/m}^2$  dan nilai terendah  $6,226 \times 10^{-1} \text{ N/m}^2$ . Hasil simulasi *displacement* dengan nilai tertinggi  $1,8 \times 10^1 \text{ mm}$  dan nilai terendah  $1 \times 10^{-30} \text{ mm}$ . Hasil simulasi *Safety factor* yaitu 3,2. Sehingga dari hasil simulasi tersebut dapat dikatakan aman untuk dilanjutkan ke proses *manufacturing*.

## References

[1] Putri, A., Setiawati, M., & Setiawati. (2024). Pemanfaatan Limbah Organik Sebagai Media Budidaya Maggot di Desa Lendang Nangka. *Jurnal Bakti Nusa*, 5(1), 1–9.

- [2] Ewag. (2019). Small-scale drying methods for Black Soldier Fly Larvae. *Sanitation, Water and Solid Waste for Development*.
- [3] Arta, B. T., Suharti, P. H., Afnan, A. F., Arianto, A., & Tasyakuranti, V. A. (2023). Penentuan Kapasitas Produksi dan Seleksi Proses Pakan Ikan Lele Berbahan Dasar Maggot Kapasitas 5.000 Ton/Tahun. *Distilat Jurnal Teknologi Separasi*, 9(3), 215–224.
- [4] Ramdan, F. M., Pramono, G. E., & Sutoyo, E. (2023). Uji Kinerja Performa Oven Pengering Tipe Rak pada Larva Black Soldier Fly (BSF). *ALMIKANIK*, 5(3).
- [5] Ramdani, R., Saleh, A., & Syafwan, E. (2023). Rancang Bangun Sistem Transmisi Mesin Pengering Maggot Lalat Tentara Hitam. *TEDC*, 17(2).
- [6] Ximenes, H. E. (2022). *Karakteristik Pengeringan Cabai Rawit Merah (Capsicum frutescens L.) Menggunakan Oven Microwave Kontinyu*.
- [7] Machinery, R. (2022). *BSF Larvae Insects Drying Microwave Dryer Machine*. Xinxiang Reeger Machinery Equipment Co., Ltd.
- [8] Mereuta, V. (2018). Static and Thermal Analysis of Piston using FEM Analysis. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 6(1), 201–206.
- [9] Zhang, J., Huang, L., He, J., Tomberlin, J. K. L. J., Lei, C., Sun, M., Liu, Z., & Yu, Z. (2010). An Artificial Light Source Influences Mating and Oviposition of Black Soldier Flies, *Hermetia illucens*. *Journal of Insect Science*.
- [10] Ewag. (2019). Small-scale drying methods for Black Soldier Fly Larvae. *Sanitation, Water and Solid Waste for Development*.
- [11] Parra Paz, A. S., Carrejo, N. S., & Gómez Rodríguez, C. H. (2015). Effects of larval density and feeding rates on the bioconversion of vegetable waste using black soldier fly larvae *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae). *Waste and Biomass Valorization*, 6, 1059–1065.
- [12] Addeo, N. F., Vozzo, S., Secci, G., Mastellone, V., Piccolo, G., Lombardi, P., Parisi, G., Asiry, K. A., Attia, Y. A., & Bovera, F. (2021). Different Combinations of Butchery and Vegetable Wastes on Growth Performance, Chemical-Nutritional Characteristics and Oxidative Status of Black Soldier Fly Growing Larvae. *Animals*, 11(3515), 1–12.
- [13] Hariyadi, T. (2018). Pengaruh Suhu Operasi terhadap Penentuan Karakteristik Pengeringan Busa Sari Buah Tomat Menggunakan Tray Dryer. *Jurnal Rekayasa Proses*, 12(2), 104–113.
- [14] Chrise, A. Y., & Syafri. (2017). Perancangan Bark Belt Conveyor 27B Kapasitas 244 Ton/Jam. *Jom FTEKNIK*, 4(2), 1–6.
- [15] Perdana, G. Z., Mulyono, S., Kurniawan, R., & Prastiyawan, H. (2024). Perancangan Belt Conveyor untuk Mobile Packcrete. *Prosiding A Semnas Mesin PNJ*, 775–783.
- [16] Lazuardi, A. S. (2018). Perancangan Sambungan Mur dan Baut pada Gerobak Sampah Motor. *Jurnal Mahasiswa Teknik Mesin ITN*, 1(1), 21–26.
- [17] Rahman, A. G., Yohana, E., & Tauviquirrahman, M. (2021). Perancangan dan Analisis Tegangan Struktur Fluidized Bed Dryer dengan Tipe Horizontal Frame menggunakan Metode Simulasi. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 9(2), 283–290.
- [18] Furqani, I., Arief, R. K., & Muchlisinalahuddin. (2022). Analisis Kekuatan Rangka Mesin Perontok Padi Menggunakan Solidworks 2019. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 6(2), 42–49.
- [19] Sanjaya, D. D., Sujiatanti, S. H., & Yulianto, T. (2017). Analisa kekuatan konstruksi wing tank kapal tanker menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 277–281.
- [20] Abbas, H., Juma, D., & Ma'ruf, R. J. (2020). Penerapan Metode Elemen Hingga Untuk Desain Dan Analisis Pembebanan Rangka Chassis Mobil Model Tubular Space Frame. *Jurnal Teknologi*, 15(2), 96–102.
- [21] Suryady, S., & Nugroho, E. A. (2022). Simulasi Faktor Keamanan dan Pembebanan Statik Rangka pada Turbin Angin Savonius. *Jurnal Jukim*, 1(2), 42–48.
- [22] Maha, F. N., Sabri, M., & Nasution, A. F. (2021). Analisa Komputasional Termal dan Stress Linear Aktuator Teleskop Galah Kelapa Sawit. *Jurnal Dinamis*, 9(1), 13–19.