Perancangan Dan Perhitungan Elemen Mesin Pencetak Pelet Maggot Sistem Extruder

Nuraini Lusi¹; Ely Trianasari²; Aditia Lisda Kusuma³; Subhi Lugas Al Hakim⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banyuwangi

E-mail: nurainilusi@poliwangi.ac.id

Abstrak

*Biokonversi memang mulai banyak dikembangkan akhir-akhir ini. Melalui proses tersebut, kandungan nutrisi yang ada pada sampah organik bisa dibentuk menjadi nutrisi bentuk lain yaitu biomassa dengan bantuan larva serangga, salah satunya yaitu larva serangga *Hermetia illucens* / Black Soldier Fly (BSF). Larva jenis ini sering digunakan sebagai agen biokonversi dan lebih dikenal dengan istilah "maggot". Salah satu contoh pemanfaatannya adalah dalam bentuk pelet maggot. Dari hasil survei yang dilakukan, alat yang digunakan untuk membuat pelet maggot tersebut masih sederhana sehingga menghasilkan pelet yang belum maksimal. Redesain mesin pencetak pelet maggot ini akan mengaplikasikan sistem satu motor untuk penggerak ganda yakni poros extruder dan poros pemotong. Mekanisme kerja mesin pencetak pelet maggot yaitu ketika mesin dinyalakan maka poros screw yang terdapat pada barrel akan berputar sesuai putaran motor dan adonan dari feed hopper turun kebawah masuk kedalam barrel untuk diproses. Adonan yang telah selesai diproses kemudian dikeluarkan melalui cetakan.*

Kata kunci: biokonversi, maggot, pellet

Abstract

*Bioconversion has indeed begun to be developed a lot recently. Through this process, the nutrient content in organic waste can be formed into other forms of nutrients, namely biomass with the help of insect larvae, one of which is the insect larvae of *Hermetia illucens* / Black Soldier Fly (BSF). Larvae of this type are often used as bioconversion agents and are better known as "maggots". One example of its use is in the form of maggot pellets. From the results of the survey conducted, the tools used to make maggot pellets are still simple so that they produce pellets that are not optimal. The redesign of this maggot pellet molding machine will apply a single motor system for dual drives, namely the extruder shaft and the cutter shaft. The working mechanism of the maggot pellet molding machine is that when the machine is turned on, the screw shaft in the barrel will rotate according to the motor rotation and the dough from the feed hopper drops down into the barrel for processing. The dough that has been processed is then removed through the mold.*

Key words: bioconversion, maggot, pellet

PENDAHULUAN

Belakangan ini cara memproses sampah berbasis biokonversi memang mulai banyak dikembangkan. Biokonversi adalah proses perombakan sampah organik menjadi sumber energi metan melalui proses fermentasi yang melibatkan organisme hidup (Newton, dkk., 2005). Dengan program biokonversi, kandungan nutrisi yang ada pada sampah organik bisa dibentuk menjadi nutrisi bentuk lain yaitu biomassa. *Black Soldier Fly (Hermetia Illucens)* adalah Lalat yang berasal dari Amerika dan selanjutnya tersebar ke wilayah subtropis dan tropis di dunia (Čičková, dkk., 2015).

Lalat *Black Soldier Fly*/lalat *BSF* saat ini banyak digunakan peternak untuk memangkas biaya pakan dengan memanfaatkan larva dari lalat tersebut atau biasa disebut sebagai maggot *BSF*. Lalat jenis ini berbeda dengan jenis lalat yang lain karena lalat ini bukan merupakan lalat hama dan tidak dijumpai pada pemukiman yang padat penduduk sehingga relatif aman jika dilihat dari segi kesehatan manusia (Li, dkk., 2011).

Melalui pengelolaan sampah organik yang dibantu dengan larva lalat *BSF*, kita dapat menyelesaikan dua masalah sekaligus yaitu mendapatkan nutrisi dari maggot dan sampah organik pun bisa berkurang karena menjadi makanan dari maggot. Salah satu desa yang mulai membudidayakan dan memanfaatkan maggot lalat *BSF* yaitu Desa Cluring, Kecamatan Cluring, Kabupaten Banyuwangi. Proses budidaya maggot *BSF* dilakukan di gudang Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST 3R).

Berdasarkan hasil survei yang dilakukan, mesin yang digunakan masih sederhana dengan menggunakan motor bensin untuk menggerakkan *extruder* untuk menekan adonan keluar dari cetakan. Proses tersebut menghasilkan pelet yang belum maksimal, salah satunya yaitu pelet yang keluar masih berbentuk panjang karena tidak dilengkapi dengan pemotong. Dari masalah tersebut, dapat disimpulkan bahwa dalam pembuatan pelet maggot diperlukan adanya peningkatan (*upgrading*) terhadap mesin yang digunakan dengan cara redesain mesin yang ada, agar memiliki kualitas yang lebih baik dari sebelumnya.

TINJAUAN PUSTAKA

Landasan Teori

Lalat *BSF*

Lalat *BSF/Black Soldier Fly (Hermetia illucens)* ini tersebar hampir di seluruh dunia. Dalam siklus hidupnya lalat *BSF* memiliki lima fase. Lima fase tersebut yaitu fase dewasa, fase telur, fase prepupa, dan fase pupa. Dari ke-lima fase tersebut, fase prepupa sering digunakan sebagai pakan ikan (Newton, dkk., 2005). Pada fase prepupa tersebut, kita lebih mengenalnya sebagai maggot *BSF* yang dapat dilihat pada **Gambar 1**. Maggot *BSF* tersebut dapat memakan apa saja, seperti sisa makanan, sampah, makanan yang sudah terfermentasi, sayuran, buah-buahan, bahkan bangkai hewan.

Gambar 1. Maggot *BSF*

Pelet Maggot *BSF*

Salah satu bentuk pemanfaatan maggot yaitu dibentuk menjadi pelet. Pelet merupakan bentuk pakan buatan yang dicetak bulat/batangan yang berasal dari campuran berbagai bahan sehingga membentuk sebuah adonan. Pelet juga dikenal sebagai bentuk massa dari bahan pakan yang dipadatkan sedemikian rupa dengan cara menekan melalui lubang cetakan secara mekanis (Zaenuri, dkk., 2014) sebagai contoh dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Selain sebagai pakan alternatif untuk ikan yang dapat diberikan dalam bentuk segar (*fresh*), maggot juga memiliki fungsi sebagai sumber protein alternatif pengganti tepung ikan. Hal tersebut karena maggot mengandung protein sekitar 32.31%-60.20% dan lemak yang tinggi sekitar 9.45%-13.30% tergantung umur dan kualitas substrat (Fahmi dan Subamia, 2007). Oleh karena itu, maggot dapat diolah menjadi bahan campuran pembuatan pelet untuk pakan ikan.

Keuntungan pakan bentuk pelet adalah meningkatkan konsumsi dan efisiensi pakan, menurunkan jumlah pakan yang tercecer, memperpanjang waktu penyimpanan, menjamin keseimbangan zat-zat nutrisi pakan dan mencegah oksidasi vitamin.

Gambar 2. Pelet Maggot *BSF*

Mesin Yang Sudah Ada

Mesin ini merupakan mesin yang ada di TPST 3R Desa Cluring, Kecamatan Cluring, Kabupaten Banyuwangi, tujuannya sebagai pembanding serta memperbaiki kekurangan dari alat/mesin yang akan dibuat. Dalam hal ini juga disertakan gambar mesin yang akan diredesain sesuai dengan kekurangannya seperti tampak pada **Gambar 3**.

Gambar 3. Mesin Yang Sudah Ada

Redesain Mesin Pencetak Pelet Maggot

Redesain mesin pencetak pelet maggot ini memiliki bentuk silinder yang sama seperti mesin sebelumnya. Bagian dalamnya terdapat ulir pengepres/*extruder* pelet untuk mendorong bahan adonan ke ujung silinder sehingga menekan plat berlubang sebagai pencetak pelet yang dikehendaki.

Perencanaan Komponen-Komponen Bagian Dinamis Mesin

Adapun beberapa komponen yang diperlukan pada bagian dinamis dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Motor Bakar

Motor bakar adalah salah satu jenis dari mesin kalor, yaitu mesin yang mengubah energi termal untuk melakukan kerja mekanik atau mengubah tenaga kimia bahan bakar menjadi tenaga mekanis (Agustianti, 2016). Energi tersebut diperoleh dari proses pembakaran yang dilaksanakan di dalam mesin.

Dalam pelaksanaannya, digunakan motor bakar jenis bensin yang sebagai motor penggerak *extruder* utama seperti tampak pada **Gambar 4**.

Gambar 4. Motor Bensin

Perhitungan daya yang direncanakan dihitung menurut persamaan- persamaan berikut:

1. Torsi yang diperlukan (Zainuri, 2008)

$$T = F \cdot r \dots\dots\dots(1)$$

Dimana gaya (F)

$$F = m \cdot a \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

T = torsi (N.mm)

F = gaya yang terjadi (N)

r = jari-jari (mm)

m = massa (kg)

a = Percepatan (m/s²)

2. Kerja yang dilakukan adalah daya (P) (Zainuri, 2008)

$$P = T \cdot 2\pi n \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

T = torsi (N.mm)

P = daya (watt, kW)

F = gaya yang terjadi (N)

r = jari-jari (mm)

n = putaran per menit (rpm)

3. Untuk menjaga keamanan maka daya dikalikan faktor koreksi (f_c) sehingga didapat daya rencana (Sularso dan Suga, 2004).

$$p_d = f_c \times p \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

p_d = daya rencana (kw)

f_c = faktor koreksi daya yang ditransmisikan

p = daya nominal input poros (kw)

b. Sabuk - V

Sabuk - V adalah penghubung antara penggerak dan yang digerakkan dengan menggunakan tali yang terbuat dari karet. Keunggulan transmisi sabuk-v adalah menghasilkan transmisi daya yang besar dan tenaga relatif rendah. Sabuk-v terbuat dari karet dan mempunyai bentuk trapesium, inti sabuk terbuat dari tenunan tetoran yang dipergunakan untuk membawa tarikan yang besar.

Sabuk-v dibelitkan pada *pulley* dan mengalami lengkungan sehingga lebar bagian dalamnya akan bertambah besar dan gaya gesekan akan bertambah karena mempengaruhi bentuk baji (Sularso dan Suga, 2004).

c. Pulley

Pulley adalah elemen yang fungsinya meneruskan daya dari sabuk-v ke poros seperti terlihat pada **Gambar 7**. Ukuran *pulley* (*drive and driven*) yang dipakai disesuaikan dengan kebutuhan kecepatan, sehingga keuntungan jika menggunakan *pulley*:

1. Tidak menimbulkan suara yang bising dan lebih tenang.
2. Kecepatan putaran dapat direduksi dengan menggunakan perbandingan ukuran *pulley* (*drive and driven*).

Gambar 7. Pulley
V-Belt

1. Perbandingan reduksi

$$i = \frac{n_2}{n_1} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

i = reduksi

n_1 = putaran pada pulley penggerak

n_2 = putaran pada pulley yang digerakkan (rpm)

2. Diameter lingkaran jarak bagi *pulley* penggerak (dp)

$$Dp = dp \times i \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

dp = diameter jarak bagi *pulley* penggerak (mm)

Dp = diameter jarak bagi *pulley* yang digerakkan (mm)

i = perbandingan putaran

3. Diameter luar *pulley*

- a. Diameter *pulley* penggerak

$$dk = dp + 2k \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

dk = diameter luar *pulley* kecil (mm)

dp = diameter jarak bagi *pulley* kecil (mm)

k = konstan

- b. Diameter luar *pulley* yang digerakkan

$$Dk = Dp + 2k \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

Dk = diameter luar pulley besar (mm)

Dp = diameter jarak bagi pulley besar (mm)

k = konstan

4. Kecepatan linier sabuk V

$$V = \frac{dp \cdot n_1}{60 \times 1000} \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan:

V = kecepatan linier sabuk (m/s)

dp = diameter pulley penggerak (mm)

n_1 = putaran pulley penggerak (rpm)

5. Panjang keliling sabuk V

$$L = 2C + 1.57(D + d) + \frac{(D-d)^2}{4C} \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan:

D = diameter pulley yang digerakkan (mm)

d = diameter pulley penggerak (mm)

C = jarak sumbu poros (mm)

6. Sudut kontak antara *pulley* dan sabuk

Sudut kontak (θ) dari sabuk pada alur penggerak harus diusahakan sebesar mungkin

untuk memperbesar panjang kontak antara sabuk dan *pulley*. Gaya gesekan berkurang dengan mengecilkannya (θ) sehingga menimbulkan slip antara sabuk dan *pulley*.

Jika jarak poros adalah pendek sedangkan reduksinya besar, maka sudut kontak pada *pulley* kecil (*pulley* penggerak) akan menjadi kecil. Adapun rumus dari sudut kontak:

$$\theta = 180^\circ - \frac{57(Dp+dp)}{c} \dots\dots(11)$$

Keterangan:

θ = sudut kontak ($^\circ$)

dp = diameter pulley penggerak (mm)

Dp = diameter pulley yang digerakkan (mm)

7. Gaya tarik efektif pada *pulley*

Jarak yang jauh antara dua buah poros sering tidak memungkinkan transmisi langsung dengan roda gigi. Dalam hal ini, transmisi daya dan putaran dilakukan melalui sabuk dan *pulley*.

Keuntungan penggunaan sistem transmisi sabuk adalah mampu menerima putaran cukup tinggi dan beban cukup besar sedangkan kerugiannya adalah suhu kerja agak terbatas sampai 80 derajat dan mudah slip. Adapun rumus dari gaya tarik efektif pada *pulley*:

$$Fe = \frac{pox102}{v} \dots\dots\dots(12)$$

Keterangan :

Po = daya yang ditransmisikan oleh sabuk (kw)

V = kecepatan linier sabuk (m/s)

d. Poros

Poros merupakan salah satu bagian yang terpenting dari setiap mesin. Hampir semua mesin meneruskan tenaga bersama-sama dengan putaran. Peran utama transmisi ini dipegang oleh poros (Sularso dan Suga, 2004).

Poros berfungsi untuk menyalurkan daya atau tenaga melalui putaran yang telah dipasang dengan kopling, roda gigi, puli, sabuk, atau *sproket* rantai dan lain-lain.

Model poros yang digunakan pada mesin pencetak pelet maggot merupakan

poros spindel yang dapat dilihat pada **Gambar 8**.

Gambar 8. Poros Spindel

Untuk merencanakan dan menghitung konstruksi sebuah poros, dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

1. Menghitung momen puntir (Sularso dan Suga, 2004)

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{Pd}{n2} \dots\dots\dots(13)$$

Keterangan:

T = momen puntir (N.mm)

$n2$ = putaran poros (rpm)

Pd = daya rencana (kw)

2. Menentukan Tegangan-Regangan Tarik

Menurut Zainuri (2008), deformasi bahan yang disebabkan oleh beban tarik adalah dasar pengujian dan kajian mengenai kekuatan bahan. Hal ini disebabkan oleh beberapa alasan, yaitu:

- Mudah dilakukan
- Menghasilkan tegangan merata pada penampang
- Kebanyakan bahan lebih mudah dilakukan uji tarik daripada uji tekan, misalnya, sehingga dalam pengujian bahan teknik, kekuatan paling sering dinyatakan dengan uji tarik.

Berikut rumus untuk menentukan tegangan-regangan tarik (Gere dan Timoshenko, 2000).

$$\sigma = P/A \dots\dots\dots(14)$$

Keterangan :

σ = Tegangan tarik (N/mm²)

P = Gaya aksial (N)

A = Luas penampang (mm²)

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \dots\dots\dots(15)$$

Keterangan :

ε = Regangan (%)

δ = Panjang akhir (mm)

L = Panjang awal (mm)

Jika gaya persatuan luasan disebut tegangamm dan pertambahan panjang disebut regangan maka hubungan ini dinyatakan dengan grafik tegangan dan regangan (*stress-strain graph*) (Zainuri, 2008). Grafik/Diagram Tegangan-

Regangan dapat dilihat pada **Gambar 9**.

Gambar 9. Diagram Tegangan-Regangan

3. Tegangan geser yang diijinkan (Sularso dan Suga, 2004)

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{Sf_1 \times Sf_2} \dots\dots\dots (16)$$

Keterangan :

σ_B = Kekuatan tarik (N/mm²)

τ_a = Tegangan geser yang diijinkan (N/mm²)

Sf_1 = Faktor kekekuatan 6

Sf_2 = Faktor kekerasan 1,3 – 3,0

4. Menentukan diameter poros untuk beban puntir (Sularso dan Suga, 2004)

$$d_s = [(5,1/\tau_a) Kt \times Cb \times T]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (17)$$

Keterangan :

d_s = diameter poros (mm)

τ_a = tegangan geser yang diizinkan (N/mm²)

Kt = faktor koreksi momen puntir

Cb = faktor lenturan

T = momen puntir (N.mm)

Faktor ini dinyatakan dengan Kt , dipilih sebesar 1,0 jika beban dikenakan secara halus, 1,0-1,5 jika terjadi sedikit kejutan atau tumbukan, dan 1,5-3,0 jika beban dikenakan dengan kejutan atau tumbukan besar (Sularso dan Suga, 2004).

e. Bantalan

Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban. Bantalan harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik, jika bantalan tidak berfungsi dengan baik maka seluruh sistem akan menurun atau tidak dapat bekerja secara semestinya (Sularso dan Suga, 2004). Bantalan dapat dilihat pada **Gambar 10**.

Gambar 10. Bantalan

Bantalan yang akan digunakan pada redesain mesin pencetak pelet maggot ada 2 macam yaitu jenis bantalan gelinding yang membawa beban aksial dan juga jenis bantalan gelinding yang membawa beban radial. Perencanaan dan perhitungan bantalan dapat diketahui dengan persamaan berikut :

1. Perhitungan beban ekuivalen dinamis. Beban yang besarnya sedemikian rupa sehingga memberikan umur yang sama dengan umur yang diberikan oleh beban dan kondisi putaran sebenarnya (Sularso dan Suga, 2004).

$$Pr = X.V.Fr. + Y.Fa \dots\dots\dots (18)$$

Keterangan :

Pr = Beban ekuivalen dinamis (kg)

X = Faktor beban radial

Fr = Beban radial (kg)

Y = Faktor beban aksial

Fa = Beban aksial (kg)

2. Faktor kecepatan putaran bantalan (Sularso dan Suga, 2004)

$$fn = \left(\frac{33,3}{n}\right)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(19)$$

Keterangan :

fn = Faktor kecepatan putaran bantalan

n = Jumlah putaran (rpm)

3. Faktor umur bantalan (Sularso dan Suga,2004)

$$f_h = fn \frac{c}{p} \dots\dots\dots(20)$$

Keterangan :

f_h = Faktor umur

C = Beban normal spesifikasi (kg)

P = Beban ekivalen dinamis (kg)

fn = Faktor kecepatan putaran bantalan

4. Umur nominal bantalan (Sularso dan Suga, 2004)

$$Lh = 500f_h^3 \dots\dots\dots(21)$$

Keterangan :

Lh = Faktor nominal (jam)

f_h = Faktor umur

f. *Extruder*

Extruder/screw press adalah alat yang digunakan untuk menekan adonan pelet sehingga bergerak menuju ujung *barell* dan keluar melalui piringan pembentuk pelet yang sudah terdapat lubang dengan diameter beragam.

Gaya sentrifugal yang terjadi pada *extruder* menyebabkan berpindahnya adonan pelet karena adanya putaran dari *screw press* secara rotasi pada *barell*. Hal ini pula yang menyebabkan adonan mempunyai tekstur padat ketika proses penggilingan menjadi pelet. *Screw press* dapat dilihat pada **Gambar 11**.

Gambar 11. *Extruder/Screw Press*

g. Pisau Pemotong

Pisau pemotong merupakan komponen penting pada mesin pencetak pelet. Panjang pelet yang dihasilkan tergantung pada pengaturan jarak antara pisau/jumlah mata pisau yang digunakan seperti yang tampak pada **Gambar 12**. Selain itu, putaran motor juga ikut mempengaruhi terhadap ukuran panjang pelet yang dihasilkan.

Gambar 12. Pisau Pemotong

Menurut Nainggolan dan Herman (2017), untuk menghitung kemampuan pisau pemotong dapat digunakan persamaan :

$$Cs = \frac{\pi.d.n}{1000} \dots\dots\dots(22)$$

Keterangan :

Cs = Kecepatan potong (m/s)

d = diameter pisau (mm)

n = putaran motor (rpm)

METODOLOGI

Desain Mesin Pencetak Pelet Maggot

Mesin pencetak pelet maggot adalah salah satu mesin yang berfungsi untuk memproduksi dan mencetak pelet atau pakan ternak ikan dengan kapasitas produksi tertentu. Mesin cetak pelet sangat efektif untuk menghasilkan pakan dalam bentuk simetris.

Mesin ini menggunakan panas yang dihasilkan dari gesekan antara bahan dan *extruder* dalam proses pengeringannya. Efek panas yang ditimbulkan dari proses tersebut membuat pelet dapat mengembang. Pelet yang keluar dari cetakan akan dipotong oleh pisau yang kemudian keluar dari cetakan tersebut dalam bentuk pelet siap pakai melalui *hopper out*. Desain mesin pencetak pelet maggot dapat dilihat pada **Gambar 13**.

Gambar 13. Mesin Pencetak Pelet Maggot

Bagian-bagian mesin pencetak pelet :

1. Motor Bensin
2. *Hopper*
3. *Barrel*
4. *Extruder*
5. Rangka
6. Poros dan Puli

Perencanaan dan Perancangan

Dalam tahapan ini, perencanaan adalah kegiatan awal yang digunakan untuk merancang suatu mesin. Perencanaan dan perancangan mesin yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Tahap Desain

Desain mesin adalah langkah awal dalam merancang suatu mesin. Pembuatan desain dilakukan dengan menggunakan aplikasi *solidworks*.

2. Persiapan Alat dan Bahan

Setelah desain gambar dan perhitungan telah dirancang, langkah selanjutnya adalah persiapan alat dan bahan.

3. Pembuatan Alat

Bahan yang telah dipersiapkan akan dibuat menjadi alat sesuai desain yang telah dibuat sebelumnya dengan menggunakan mesin perkakas. Pembuatan alat tersebut disesuaikan dengan ukuran gambar dengan berbagai penyesuaian.

3. Pengujian

Jika perancangan mesin telah selesai, langkah kerja yang selanjutnya adalah menguji mesin tersebut agar dapat bekerja secara optimal. Pengujian ini juga dilakukan untuk mencari kekurangan pada bagian-bagian mesin yang selanjutnya akan disempurnakan.

4. Perbaikan

Tahapan ini dilakukan untuk menyempurnakan perancangan dan mekanisme mesin. Hal ini

dilakukan untuk menghindari terjadinya masalah atau kerusakan pada mesin agar mesin dapat menghasilkan produk yang sesuai keinginan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Motor

Pada perencanaan motor, ada beberapa perhitungan yang digunakan sebagai berikut:

1. Menghitung percepatan mengalir adonan

Berat beban adonan yang direncanakan yang mampu ditampung oleh *hopper* atas yaitu sebesar 5 kg. Sedangkan untuk *a* (percepatan mengalir adonan) diketahui dari perhitungan berikut.

$$a = \frac{V}{t}$$

$$V = s/t$$

$$s = 300 \text{ mm} = 0,3 \text{ m (panjang extruder/screw press yang direncanakan)}$$

$$t = 0,5 \text{ s (asumsi waktu yang digunakan)}$$

$$V = 0,3/0,5$$

$$= 0,6 \text{ m/s}$$

Sehingga percepatan yang terjadi yaitu:

$$a = \frac{V}{t}$$

$$V = 0,6 \text{ m/s}$$

$$t = 0,5$$

$$a = \frac{0,6}{0,5}$$

$$= 1,2 \text{ m/s}^2$$

2. Menghitung gaya yang terjadi

$$F = m \cdot a$$

$$m = 5 \text{ kg}$$

$$a = 1,2 \text{ m/s}^2$$

$$F = 5 \cdot 1,2$$

$$= 6 \text{ N}$$

3. Menghitung torsi yang terjadi

$$T = F \cdot r$$

$$F = 6 \text{ N}$$

$$r = 25,5 \text{ mm (setengah diameter mayor poros extruder yang direncanakan)}$$

$$T = 6 \cdot 25,5$$

$$T = 153 \text{ N.mm}$$

4. Menghitung daya yang terjadi

Sebelum menghitung daya yang diinginkan, terlebih dahulu mengetahui daya motor yang terjadi dengan rumus berikut :

$$P = \frac{(T/1000) \cdot (2\pi \cdot n/60)}{102}$$

$$T = 153 \text{ N.mm}$$

$$n = 500 \text{ rpm (putaran poros yang direncanakan)}$$

$$P = \frac{(153/1000) \cdot (2\pi \cdot 500/60)}{102}$$

$$= \frac{0,153 \cdot 52,33}{102}$$

$$= \frac{8,00}{102}$$

$$= 0,078 \text{ Kw}$$

5. Menghitung daya rencana

$$Pd = fc \times P$$

$$fc = 1,2 \text{ (nilai faktor koreksi)}$$

$$P = 0,078 \text{ Kw.}$$

$$Pd = 1,2 \cdot 0,078$$

$$= 0,09 \text{ Kw}$$

$$= 0,12 \text{ HP}$$

Dengan demikian, motor yang akan digunakan yaitu motor dengan daya 0,12 HP. Mengantisipasi kemungkinan terjadi kelebihan beban, maka daya motor yang digunakan dapat ditingkatkan menjadi 0,50 HP maupun di atasnya.

Pada redesain mesin pencetak pelet maggot ini, motor yang digunakan yaitu motor bensin Vitara CX 160. Diketahui motor memiliki daya 5,5 PS/HP dan putaran maksimal motor sebesar 3600 rpm atau bisa diasumsikan bukaan gas penuh sehingga dapat dikatakan motor yang digunakan aman. Karena untuk sekali proses pembuatan pelet maggot sesuai dengan data di atas, hanya memerlukan daya motor 0,12 HP.

Sabuk dan Puli

Pada perencanaan *v-belt* dan *pulley* utama, terdapat beberapa perhitungan yang digunakan untuk menentukannya dengan diketahui data sebagai berikut:

$$Pd = 5,5 \text{ HP (4,103 Kw)}$$

$$n = 3600 \text{ rpm (putaran maksimal motor)}$$

$$n1 = 1600 \text{ rpm (putaran motor yang digunakan sebagai acuan)}$$

$$n2 = 500 \text{ rpm (putaran yang direncanakan)}$$

Dari data di atas, dapat digolongkan sabuk yang digunakan adalah sabuk tipe A dengan melihat daya rencana (Pd) dan putaran motor/puli

kecil (n). Putaran motor/puli kecil (n) yang digunakan yaitu n1 (1600 rpm).

1. Menentukan perbandingan reduksi

$$i = \frac{n1}{n2}$$

$$n1 = 1600 \text{ rpm}$$

$$n2 = 500 \text{ rpm}$$

$$i = \frac{1600}{500}$$

$$= 3,2$$

Hasil perbandingan reduksi ini yaitu 1 : 3,2 dengan putaran motor yaitu 1600 rpm direduksi menjadi 500 rpm. Hasil tersebut akan digunakan dalam menentukan diameter nominal pada puli yang digerakan.

2. Menentukan diameter puli yang digerakan (*driven*)

$$Dp = dp \times i$$

$$dp = 95 \text{ mm (diameter min. yang dianjurkan)}$$

$$i = 3,2$$

$$Dp = 95 \times 3,2$$

$$= 304 \text{ mm}$$

304 mm merupakan nilai yang didapatkan dalam perhitungan.

3. Menentukan diameter luar puli yang digerakan (*driven*)

$$Dk = Dp + 2k$$

$$Dp = 304$$

$$k = 4,5$$

$$Dk = Dp + 2k$$

$$= 304 + 2 \cdot 4,5$$

$$= 304 + 9$$

$$Dk = 313 \text{ mm}$$

Hasil perhitungan tersebut digunakan sebagai acuan untuk memilih ukuran puli yang ada di pasaran. Menggunakan ukuran terdekat dari perhitungan dan didapatkan ukuran yang ada di pasaran yaitu sebesar 304,8 mm /12 inch.

4. Menentukan diameter luar puli penggerak

$$dk = dp + 2 \cdot k$$

$$dp = 95$$

$$k = 4,$$

$$dk = 95 + 2 \cdot 4,5$$

$$= 104 \text{ mm}$$

Hasil perhitungan tersebut digunakan sebagai acuan untuk memilih ukuran puli yang ada di

pasaran. Menggunakan ukuran terdekat dari perhitungan dan didapatkan ukuran yang ada di pasaran yaitu sebesar 101,6 mm /4 inch.

5. Menentukan jarak antar poros

$$\begin{aligned} C &= 2 \times D_p \\ &= 2 \times 304 \\ &= 608 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan tersebut merupakan jarak minimal dalam menentukan panjang sabuk.

6. Menentukan panjang keliling sabuk

$$\begin{aligned} L &= 2C + \frac{\pi}{2}(d_p + D_p) + \frac{1}{4C}(D_p - d_p)^2 \\ C &= 608 \text{ mm} \\ d_p &= 95 \text{ mm} \\ D_p &= 304 \text{ mm} \\ L &= 2.608 + \frac{3,14}{2}(95 + 304) + \frac{1}{4.608}(304 - 95)^2 \\ &= 1216 + 1,57(399) + \frac{1}{4.608}(209)^2 \\ &= 1216 + 1,57(399) + \frac{1}{2432}(43681) \\ &= 1216 + 626,43 + 0,00041(43681) \\ &= 1216 + 626,43 + 17,96 \\ &= 1860,39 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan tersebut kemudian disesuaikan dengan ukuran panjang sabuk-V standar dan didapatkan ukuran panjang sabuk yaitu 1880 mm / 74 inch.

Berdasarkan data di atas, digunakan sabuk-v dengan merk Bando tipe A-73 dimana dalam katalog sabuk tersebut menjelaskan bahwa ukuran panjang bagian dalam (*datum length*) = 74,3 inch.

7. Menentukan jarak sumbu poros

$$b = 2L - 3,14 (D_p + d_p)$$

Dalam menentukan jarak sumbu poros, nilai L pada keliling sabuk yang digunakan yaitu nilai yang telah disesuaikan dengan referensi.

Jadi, perhitungan jarak sumbu poros sebagai berikut:

$$\begin{aligned} L &= 1854 \text{ mm} \\ D_p &= 304 \text{ mm} \\ d_p &= 95 \text{ mm} \\ b &= 2.1854 - 3,14 (304 + 95) \\ &= 3708 - 3,14. (399) \\ &= 3708 - 1252,86 \\ &= 2455,14 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk dapat mendapatkan nilai sebenarnya dari menentukan jarak sumbu poros yaitu menggunakan persamaan rumus berikut:

$$\begin{aligned} C &= \frac{b + \sqrt{b^2 - 8(D_p - d_p)^2}}{8} \\ b &= 2455,14 \text{ mm} \\ D_p &= 304 \text{ mm} \\ d_p &= 95 \text{ mm} \\ C &= \frac{2455,14 + \sqrt{2455,14^2 - 8(304 - 95)^2}}{8} \\ &= \frac{2455,14 + \sqrt{2455,14^2 - 8(209)^2}}{8} \\ &= \frac{2455,14 + \sqrt{6027712,4196 - 8(43681)}}{8} \\ &= \frac{2455,14 + \sqrt{6027712,4196 - 349448}}{8} \\ &= \frac{2455,14 + \sqrt{5678264,4196}}{8} \\ &= \frac{2455,14 + 2382,91}{8} \\ &= \frac{4838,05}{8} \\ &= 604,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari hasil tersebut dapat dibandingkan dengan perhitungan jarak antar poros sebelumnya yaitu mendapatkan nilai 608 mm dan jarak sumbu poros sebenarnya 604,75 mm.

8. Menentukan kecepatan linier sabuk

$$\begin{aligned} V &= \frac{\pi \cdot d_p \cdot n_1}{60 \cdot 1000} \\ d_p &= 95 \text{ mm} \\ n_1 &= 1600 \text{ rpm} \\ v &= \frac{3,14 \cdot 95 \cdot 1600}{60 \cdot 1000} \\ &= \frac{477280}{60000} \\ &= 7,95 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan tersebut merupakan kecepatan sabuk bergerak berputar dari puli kecil ke puli besar.

9. Menentukan sudut kontak

Besar kecilnya sudut kontak akan mempengaruhi kinerja sabuk terhadap kejadian slip.

$$\begin{aligned} \theta &= 180^\circ - \frac{57(D_p - d_p)}{C} \\ D_p &= 304 \text{ mm} \\ d_p &= 95 \text{ mm} \\ C &= 604,75 \text{ mm} \\ \theta &= 180^\circ - \frac{57(304 - 95)}{604,75} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 180^\circ - \frac{57(209)}{604,75} \\
 &= 180^\circ - \frac{11913}{604,75} \\
 &= 180^\circ - 19,69 \\
 &= 160,31^\circ
 \end{aligned}$$

10. Menentukan gaya tarik efektif sabuk terhadap kemiringan sabuk

$$\begin{aligned}
 f_e &= \frac{P_o \times 102}{V} \\
 P_o &= \text{Kapasitas daya yang ditransmisikan} \\
 V &= \text{Kecepatan linier sabuk} \\
 P_o &= 1,43 + 0,20 \\
 &= 1,63 \\
 V &= 7,95 \text{ m/s} \\
 f_e &= \frac{1,63 \times 102}{7,95} \\
 &= \frac{166,26}{7,95} \\
 &= 20,91 \text{ Kg} \\
 &= 21 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

nilai gaya tarik efektif sabuk ini nantinya akan digunakan untuk menentukan perhitungan potongan pada poros dan momen terbesar.

Poros Extruder (Screw Press)

Dalam pemilihan *extruder* menggunakan perencanaan dan perhitungan dengan ukuran yang dapat dilihat pada **Gambar 14**. Hal tersebut yang nantinya akan digunakan sebagai acuan pembelian *extruder* yang tersedia di pasaran atau perencanaan pembuatan *extruder*.

Gambar 14. Bagian *Extruder*

Keterangan :

Diameter mayor *screw press* (D) = 51 mm

Panjang *screw press* (L) = 300 mm

Pith screw pers (P) = 45 mm, 29 mm, 18 mm

Diameter minor *screw press* (d) = 42 mm

Sudut kemiringan *screw* (α) = 10°

Sudut kemiringan *screw* terhadap sumbu (θ) = 100°

Diameter luar *barrel* = 72 mm

Diameter dalam *barrel* = 60 mm

1. Menentukan gaya momen/torsi untuk mengeluarkan adonan

Torsi yang digunakan untuk mengeluarkan adonan diambil dari hasil perhitungan momen puntir terbesar pada poros yaitu sebesar 78327,911 N.mm. Selain itu, untuk menentukan gaya momen/torsi dapat diketahui dari hasil analisa dengan memutar *extruder* dengan bantuan neraca pegas seperti tampak pada **Gambar 15**.

Gambar 15. Pengukuran Torsi

2. Menentukan gaya yang timbul ke arah tangensial (Ft)

Kesamaan gaya tangensial adalah searah dengan gaya memutar *extruder* untuk mengalirkan adonan. Dimana :

- Gaya arah tangensial = $F_n \cdot \sin \alpha$
- Gaya arah tangensial = $F_n \cdot f \cdot \cos \alpha$

Sehingga gaya torsi yang terjadi :

- a. $T = F_t \cdot r$
- b. $T = F_n \cdot (\sin \alpha + f' \cdot \cos \alpha) \cdot R$

Gambar 16. Sudut yang terbentuk pada *Extruder*

$$\begin{aligned} A &= F_a \cdot F \cdot \sin \alpha \\ B &= F_a \cdot F \\ C &= F_a \cdot F \cdot \cos \alpha \\ D &= F_n \cdot \sin \alpha \\ E &= F_n \cdot \cos \alpha \end{aligned}$$

Harga koefisien gesek untuk material sejenis *barley* (semacam gandum, beras) yang mempunyai kelembaban dan terjadi pada massa jenis 840 kg/m³, maka material mempunyai harga koefisien gesek sebesar 0,4314 (Aria, dkk., 2003).

Perhitungan Torsi yang dibutuhkan poros screw didapat dari gaya yang terjadi pada arah tangensial, seperti berikut :

$$\begin{aligned} T &= F_t \cdot r \\ &= F_n \cdot (\sin \alpha + f' \cdot \cos \alpha) \cdot r \\ T &= 78327,911 \text{ N.mm (didapatkan dari perhitungan torsi poros dengan daya motor bensin 5,5 HP)} \\ r &= D/2 \\ &= 51/2 \\ &= 25,5 \text{ mm} \\ \alpha &= 10^\circ \\ f' &= 0,4314 \text{ (koefisien gesek)} \\ T &= F_n \cdot (\sin \alpha + f' \cdot \cos \alpha) \cdot r \\ 78327,911 \text{ N.mm} &= F_n \cdot (\sin 10 + 0,4314 \cdot \cos 10) \cdot 25,5 \text{ mm} \\ 78327,911 \text{ N.mm} &= F_n \cdot (0,59) \cdot 25,5 \text{ mm} \\ 78327,911 \text{ N.mm} &= F_n \cdot 15,261 \text{ mm} \\ F_n &= 78327,911 \text{ N.mm} / 15,261 \text{ mm} \\ F_n &= 5132,351 \text{ N} \end{aligned}$$

Sehingga gaya arah tangensial (F_t) :

$$\begin{aligned} F_t &= F_n \cdot (\sin \alpha + f' \cdot \cos \alpha) \\ &= 5132,351 \text{ N} (\sin 10 + 0,4314 \cdot \cos 10) \end{aligned}$$

$$= 5132,351 \text{ N} (0,59)$$

$$F_t = 3071,682 \text{ N}$$

3. Menentukan gaya yang timbul ke arah aksial (F_a)

- a. Gaya arah aksial terhadap material = $F_n \cdot f' \cdot \sin \alpha$
- b. Gaya arah aksial terhadap gaya normal = $F_n \cdot \cos \alpha$

Persamaan gaya aksial yang terjadi:

- a. $F_a = F_n \cdot (\cos \alpha - f' \cdot \sin \alpha)$

Sehingga gaya arah aksial (F_a):

$$\begin{aligned} F_a &= F_n \cdot (\cos \alpha - f' \cdot \sin \alpha) \\ &= 5132,351 \text{ N} \cdot (\cos 10 - 0,4314 \cdot \sin 10) \\ &= 5132,351 \text{ N} \cdot 0,90 \\ F_a &= 4669,90 \text{ N} \end{aligned}$$

4. Torsi yang terjadi sebenarnya

Berdasarkan perhitungan tersebut, torsi yang terjadi sebenarnya dapat dicari dengan mengganti data yang telah digunakan sebelumnya pada rumus berikut.

$$\begin{aligned} T &= F \cdot r \\ F_a &= 4669,90 \text{ N (F aksial ekstruder)} \\ r &= 25,5 \text{ mm (setengah diameter mayor poros extruder yang direncanakan)} \\ T &= 4669,90 \text{ N} \cdot 25,5 \text{ mm} \\ T &= 119082,45 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, dapat dibandingkan hasil dari torsi (T) yang terjadi dengan asumsi torsi yang digunakan sebelumnya yaitu:

$$\begin{aligned} 119082,45 \text{ N.mm} &: 153 \text{ N.mm} \\ \text{dengan perbandingan gaya yang digunakan (F) :} \\ 4669,90 \text{ N} &: 6 \text{ N} \end{aligned}$$

Bantalan

Bantalan yang akan digunakan pada redesain mesin pencetak pelet maggot ada 3 macam yaitu jenis bantalan gelinding yang membawa beban aksial dan juga jenis bantalan gelinding yang membawa beban radial. Adapun perhitungan bantalan sebagai berikut:

1. Perhitungan beban ekuivalen dinamis

$$Pr = X \cdot V \cdot Fr + Y \cdot Fa$$

$$X = 0,56$$

$V = 1$ (untuk pembebanan pada cincin dalam yang berputar)

Fr = 21 Kg (Beban tarik sabuk)
Y = 1,45
Fa = 4669,90 N / 476,52 Kg (Gaya aksial pada ekstruder)
Nilai X dan Y didapatkan pada referensi
Pr = X.V.Fr. + Y.Fa
= 0,56. 1. 21 + 1,45. 476,52
= 11,76 + 690,95
= 702,714 Kg

2. Faktor kecepatan putaran bantalan

$$fn = \left(\frac{33,3}{n2}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$n2 = 500 \text{ rpm (putaran yang direncanakan)}$$

$$fn = \left(\frac{33,3}{500}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$fn = (0,0666)^{\frac{1}{3}}$$

$$fn = 0,405$$

3. Faktor umur bantalan

Ada 3 jenis bantalan yang digunakan yaitu jenis *pillow block*, *ball bearing* biasa dan *thrust bearing*. Oleh karena itu, untuk faktor umur bantalan dipisahkan menjadi 3 berdasarkan jenis dan tipe bantalan.

a. Pillow Block

Menggunakan jenis bantalan dengan nomor bantalan 6205 Bantalan ini yang menerima beban radial.

$$f_h = fn \frac{c}{p}$$

$$C = 1100 \text{ Kg}$$

$$P = 702,714 \text{ Kg}$$

$$Fn = 0,405$$

$$f_h = fn \frac{c}{p}$$

$$f_h = 0,405 \frac{1100}{702,714}$$

$$f_h = 0,405 \cdot 1,56$$

$$f_h = 0,63$$

b. Ball Bearing Biasa

Menggunakan jenis bantalan dengan nomor bantalan 6005 Bantalan ini yang menerima beban aksial.

$$f_h = fn \frac{c}{p}$$

$$C = 790 \text{ Kg}$$

$$P = 702,714 \text{ Kg}$$

$$Fn = 0,405$$

$$f_h = fn \frac{c}{p}$$

$$f_h = 0,405 \frac{790}{702,714}$$

$$f_h = 0,405 \cdot 1,12$$

$$f_h = 0,45$$

c. Thrust bearing

Selain kedua bearing diatas, digunakan juga *thrust bearing* dengan nomor bantalan 51107 yang ditempatkan pada pangkal poros *ekstruder* sebagai tumpuan dorongan. Bantalan ini yang menerima beban aksial.

$$f_h = fn \frac{c}{p}$$

$$C = 20400 \text{ N / 2081,63 Kg}$$

$$P = 702,714 \text{ Kg}$$

$$Fn = 0,405$$

$$f_h = fn \frac{c}{p}$$

$$f_h = 0,405 \frac{2081,63}{702,714}$$

$$f_h = 0,405 \cdot 2,96$$

$$f_h = 1,19$$

4. Umur nominal bantalan

$$Lh = 500 f_h^3$$

a. Pillow Block

$$Fh = 0,63$$

$$Lh = 500 \cdot (0,63)^3$$

$$= 500 \cdot 0,25$$

$$= 125 \text{ jam}$$

b. Ball Bearing Biasa

$$Fh = 0,45$$

$$Lh = 500 \cdot (0,45)^3$$

$$= 500 \cdot 0,09$$

$$= 45 \text{ jam}$$

c. Thrust Bearing

$$Fh = 1,19$$

$$Lh = 500 \cdot (1,19)^3$$

$$= 500 \cdot 1,68$$

$$= 840 \text{ jam}$$

Untuk perhitungan bantalan digunakan juga rumus referensi dari katalog pabrikan yang akan digunakan yaitu merk FBJ

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari hasil pembuatan mesin pencetak pelet maggot yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Komponen-komponen beserta ukuran yang digunakan pada mesin pencetak pelet maggot berdasarkan perencanaan dan ketersediaan bahan di pasaran.
2. Menggunakan motor bensin dengan daya sebesar 5,5 HP dengan putaran maksimum sebesar 3600 Rpm. Untuk putaran motor dapat di *setting* sesuai kebutuhan tergantung beban adonan yang masuk.
3. Sabuk yang digunakan adalah sabuk-v tipe A dengan nomor 73 untuk menghubungkan poros motor dengan poros extruder sedangkan untuk tipe A dengan nomor 33 digunakan untuk menghubungkan poros extruder dengan poros luar serta poros pemotong.
4. Ukuran puli yang digunakan yaitu sebesar 12 inchi sejumlah 1 buah dan ukuran 4 inchi sejumlah 4 buah dimana ukuran tersebut disesuaikan dengan ukuran yang terdapat di pasaran.
5. Extruder yang digunakan memiliki ukuran panjang total 300 mm, $\varnothing$ mayor = 51 mm dan $\varnothing$ minor = 42 mm, jarak antar puncak berturut-turut sebesar 45 mm, 29 mm, dan 18 mm. Sedangkan untuk barrel memiliki $\varnothing$ luar = 72 mm dan $\varnothing$ dalam = 60 mm
6. Terdapat 3 jenis bantalan yang digunakan yaitu jenis bantalan terbuka dengan nomor 6005 yang memiliki diameter dalam sebesar 25 mm, jenis pillow block dengan nomor 6205-16 yang memiliki diameter dalam sebesar 25,4 mm/1 inchi, dan jenis thrust bearing dengan nomor 51107 yang memiliki diameter dalam sebesar 35 mm.
7. Menggunakan rangka besi siku dengan ukuran 40 mm x 40 mm x 3 mm yang dibentuk sedemikian rupa sesuai dengan desain yang dibuat sebelumnya.
8. Menggunakan mur dan baut sejumlah 4 buah padaudukan motor dan 8 buah pada unit extruder set.
9. Untuk komponen-komponen statis seperti hopper in, hopper out, dan penutup v-belt

sambungan yang digunakan adalah sambungan keling/rivet dengan ukuran paku keling sebesar 8 mm.

Saran

Adapun saran yang perlu diperhatikan dalam mesin pencetak pelet maggot ini adalah sebagai berikut :

1. Jika menggunakan motor listrik, diperlukan pemanas tambahan seperti *band heater* untuk membuat sistem ekstrusi mencapai suhu kerjanya lebih cepat. Komponen tersebut merupakan pemanas elektrik yang ditempatkan pada *barrel*, berfungsi untuk pemanas awal agar saat pertama adonan masuk sudah mendapatkan perlakuan panas sehingga pelet pertama yang dikeluarkan langsung bisa mengapung tanpa harus menunggu sistem ekstrusi mencapai suhu kerjanya.
2. Untuk motor listrik, diperlukan *reducer/gearbox* dengan perbandingan 1:40 atau 1:60 agar memaksimalkan proses yang bekerja.
3. Diperlukan bahan rangka yang lebih kuat agar tidak terlalu menimbulkan getaran.
4. Pastikan semua sambungan kuat dan rapat terutama pada bagian *hooper in* agar tidak terjadi kebocoran adonan.
5. Perlunya peredam getaran pada bagian alas rangka untuk mencegah mesin bergerak atau berpindah tempat pada saat beroperasi.

REFERENSI

- Agustianti, F. 2016. Gasifikasi Limbah Tempurung Kelapa Sebagai Gas Bakar Pada Motor Bakar Empat Tak [Doctoral Dissertation]. Palembang. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Emma, Z. 2006. Studi Pembuatan Pakan Ikan dari Campuran Ampas Tahu, Ampas Ikan, Darah Sapi Potong, dan Daun Keladi yang Disesuaikan dengan Standar Mutu Pakan Ikan. *Jurnal Sains Kimia* 10: 40-45.
- Fahmi, M. R., Hem, S., & Subamia, I. W. 2007. Potensi maggot sebagai sumber protein alternatif. *In Prosiding Seminar Nasional Perikanan II*. Yogyakarta. UGM.

- Gere, J. M., & Timoshenko, S. P. 2000. *Mekanika Bahan*. - Ed. 4. – Jakarta: Erlangga.
- Li, Q., Zheng, L., Qiu, N., Cai, H., Tomberlin, J. K., & Yu, Z. 2011. Bioconversion of dairy manure by black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) for biodiesel and sugar production. *Waste management*, 31(6), 1316-1320.
- Nainggolan, H., & Herman, D. 2017. Analisa Alat Pembuat Pellet Berdasarkan Kapasitas Alat Dan Kemampuan Pisau. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 108-116.
- Sularso dan Suga, K. 2004. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. - Cet. 11. - Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Zaenuri, R., Suharto, B., & Haji, A. T. S. 2014. Kualitas pakan ikan berbentuk pelet dari limbah pertanian. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 1(1), 31-36.
- Zainuri, A. M. 2008. *Kekuatan Bahan*. - Ed. 1. – Yogyakarta: CV. Andi Offset.