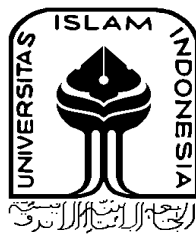


**PEMBUATAN *HOUSING BALL NUT* PADA MESIN CNC 3  
*AXIS***

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



**Disusun Oleh :**

**Nama : Fakhрил Ananta**  
**No. Mahasiswa : 19525110**  
**NIRM : 1907210044**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2024**

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**  
**PEMBUATAN *HOUSING BALL NUT* PADA MESIN CNC 3**  
***AXIS***

**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh :**

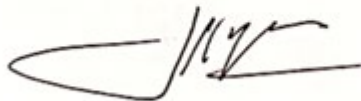
**Nama : Fakhril Ananta**

**No. Mahasiswa : 19525110**

**NIRM : 1907210044**

Yogyakarta, 15 Agustus 2024

Pembimbing



Dr. Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng

# LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

## PEMBUATAN *HOUSING BALL NUT* PADA MESIN CNC 3 *AXIS*

### TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Fakhril Ananta  
No. Mahasiswa : 19525110  
NIRM : 1307210044

Tim Penguji

Dr. Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng.

Ketua



Tanggal : 9 September 2024

Ir. Santo Ajie Dhewanto, S.T., M.M., IPP

Anggota I



Tanggal : 7 September 2024

Finny Pratama Putera, S.T., M.Eng.

Anggota II



Tanggal : 2 Sept 2024 .

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rezeki dan rahmat-Nya. Serta doa dan dukungan yang diberikan oleh orang-orang tercinta, hingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh sebab itu penulis ini ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

Orang tua yang selalu senantiasa memberikan dukungan moral berupa doa dan kasih sayang maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Bapak Dr. Ir. Paryana Puspaputra M. Eng. selaku dosen pembimbing yang banyak memberikan ilmu terhadap penulis baik itu ilmu yang berhubungan dengan studi Teknik Mesin maupun ilmu kehidupan yang sangat bermanfaat bagi penulis.

Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat berguna dan bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan khususnya pada bidang yang sesuai dengan topik penulis.

## HALAMAN MOTTO

Maka sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan,  
Sesungguhnya beserta kesulitan itu ada kemudahan  
*(Q.S Al-Insyirah 5-6)*

Dan (ingatlah) ketika Tuhanmu memaklumkan, “Sesungguhnya jika kamu bersyukur, niscaya Aku akan menambah (nikmat) kepadamu, tetapi jika kamu mengingkari (nikmat-Ku), sesungguhnya azab-Ku benar-benar sangat keras”  
*(Q.S Ibrahim 7)*

## KATA PENGANTAR

*“Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh”*

*“Alhamdulillahirabbil’alamin”*

Puji syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT berkat rahmat dan karunia-Nya penulgis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Shalawat serta salam kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita kepada kehidupan yang lebih baik. Laporan tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini penulis mendapat bimbingan dan arahan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

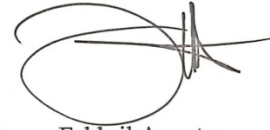
1. Orangtua yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, materiil, dan doa kepada penulis sehingga penulis dapat menjalankan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik
2. Bapak Dr. Muhammad Khafid S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dr. Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu dan arahan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen dan staff pengajar Teknik Mesin FTI UII.
5. Rekan-rekan ruangan 109 yang selalu bekerja sama saling membantu untuk menyelesaikan tugas akhir ini bersama-sama sesuai dengan judul masing-masing. Serta rekan-rekan Keluarga Besar Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia Angkatan 2019, yang telah berjuang bersama dan saling menyemangati.
6. Teman-Teman Kontrakan Kriminal yang telah menjadi tempat bertukar pandangan, pikiran, dan pengalaman serta saling membantu dalam kebaikan.
7. Seluruh pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Demikian penulis sampaikan dalam laporan ini. Penulis mengetahui bahwa laporan ini jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran. Semoga penelitian ini dapat berguna bagi mahasiswa dan masyarakat umum. Atas perhatiannya penulis ucapkan terima kasih.

*“Wabillahitaufiq Walhidayah “*

*“Wassalamu’alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh”*

Yogyakarta, 15 Agustus 2024

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized loop followed by several vertical strokes and a horizontal line extending to the right.

Fakhri Ananta

## ABSTRAK

*Computer Numerical Control (CNC)* adalah mesin perkakas otomatis yang dapat diatur melalui komputer. Diciptakan mesin CNC bertujuan agar pengolahan material dapat lebih efisien dan presisi. Salah satu komponen dalam mesin CNC adalah *ball screw*. *Ball screw* merupakan perangkat mekanis yang cukup penting pada mesin perkakas NC, *ball screw* berfungsi sebagai pemindah gerak dari putaran motor aksis menjadi translasi linier. Penggunaan *housing* pada *ball screw* sangat penting untuk menjaga gerakan pada *ball screw* agar tetap pada posisi tegak lurus. Pada penelitian ini merupakan perbaikan dari *housing ball nut* meliputi segi desain dan mengembangkan dengan memanfaatkan teknologi *3D Print* berbahan PLA serta menambah estetika bentuk tanpa mengurangi kekuatannya dengan bantuan aplikasi *SolidWorks* dan *Finite Element Analysis*. Pengujian yang dilakukan merupakan perbandingan hasil permesinan CNC dengan menggunakan *housing* berbahan aluminium yang ada sebelumnya dan *housing ball nut* berbahan PLA dengan variasi *infill* 80% dan 100%. Dari hasil pengujian didapatkan nilai presentase penyimpangan akurasi pada *housing ball nut* modifikasi dengan *infill* 100% memiliki nilai akurasi 3.4% sedangkan untuk *housing ball nut* aluminium memiliki presentase penyimpangan akurasi sebesar 3.45%. Berdasarkan hasil pengujian tersebut didapatkan kesimpulan bahwa perancangan *housing ball nut* dengan material berbahan PLA dapat menjadi pertimbangan untuk pengembangan mesin CNC 3 Axis karena memiliki estetika bentuk yang lebih menarik.

**Kata kunci :** *ball nut screw, housing ball nut, mesin CNC, 3D print*

## **ABSTRACT**

*Computer Numerical Control (CNC) is an automatic machine tool that can be controlled by a computer. The CNC machine was created to make material processing more efficient and precise. One of the components in a CNC machine is a ball screw. Ball screw is a fairly important mechanical device in NC machine tools, ball screw functions as a motion transfer from axis motor rotation to linear translation. The use of housing on the ball screw is very important to maintain the movement of the ball screw so that it remains in a perpendicular position. In this study, it is an improvement of the ball nut housing including design aspects and developing by utilizing 3D Print technology made of PLA and adding aesthetics to the shape without reducing its mechanical strength with the help of SolidWorks and Finite Element Analysis applications. The test carried out is a comparison of CNC machining results using the previous aluminum housing and PLA ball nut housing with 80% and 100% infill variations. From the test results, the percentage value of accuracy deviation in the modified ball nut housing with 100% infill has an accuracy value of 3.4% while the aluminum ball nut housing has a percentage of accuracy deviation of 3.45%. Based on the test results, it was concluded that the design of the ball nut housing with PLA material can be considered for the development of a 3-Axis CNC machine because it has a more attractive aesthetic shape.*

**Keywords : ball nut screw, ball nut housing, CNC machining, 3D print**

## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing .....	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji .....	iii
Halaman Persembahan .....	iv
Halaman Motto .....	v
Kata Pengantar.....	vi
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
Daftar Gambar .....	xiii
Bab 1 Pendahuluan .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan .....	2
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka .....	4
2.1 Kajian Pustaka .....	4
2.2 Dasar Teori .....	5
2.2.1 Mesin CNC .....	5
2.2.2 <i>Ball screw</i> .....	6
2.2.3 <i>Finite Element Analysis</i> .....	7
2.2.4 <i>3D Print</i> .....	9
2.2.5 <i>Polylactic Acid (PLA)</i> .....	10
Bab 3 METODE PENELITIAN.....	11
3.1 Alur Penelitian .....	11
3.2 Perancangan .....	12
3.2.1 Kriteria Desain.....	12
3.2.2 Pra Produksi Desain <i>Housing ball nut</i> .....	12
3.2.3 Proses Produksi <i>Housing ball nut</i> .....	20

3.3	Peralatan dan Bahan.....	23
Bab 4	Hasil dan Pembahasan .....	24
4.1	Hasil Perancangan.....	24
4.2	Hasil Pengujian .....	24
Bab 5	Penutup.....	28
5.1	Kesimpulan .....	28
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	28
Daftar Pustaka	.....	29

## DAFTAR TABEL

Tabel 2-2 <i>Properties</i> of PLA .....	10
Tabel 3- 1 Kriteria Desain .....	12
Tabel 4- 1 Data Pengujian Perbandingan Dimensi Pola Desain Persegi Panjang	25
Tabel 4- 2 Data Pengujian Perbandingan Dimensi Pola Desain Persegi.....	26
Tabel 4- 3 Estimasi Harga.....	27

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3- 1 Alur Penelitian.....	11
Gambar 3- 2 <i>Housing ball nut</i> Alumunium.....	13
Gambar 3- 3 <i>Housing ball nut</i> Modifikasi.....	13
Gambar 3-4 Peletakan Beban dan Tumpuan .....	14
Gambar 3-5 Hasil akhir Analisis Topologi.....	16
Gambar 3- 6 Proses Perubahan Bentuk Hasil Topologi .....	17
Gambar 3-7 Analisis Statis – Tegangan (Stress).....	18
Gambar 3- 8 Analisis Statis – Perubahan Jarak ( <i>Displacement</i> ) .....	19
Gambar 3-9 Tampilan Simulasi dan Estimasi <i>Flashprint</i> .....	20
Gambar 3-10 Pengaturan Parameter.....	21
Gambar 3- 11 Proses Cetak <i>Housing ball nut</i> .....	21
Gambar 3-12 Hasil Pencetakan 3D <i>Print</i> .....	22

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan dunia industri berkembang dengan sangat pesat. Berbagai macam mesin yang telah diciptakan kemudian dimanfaatkan untuk meningkatkan efisiensi dalam proses produksi. Salah satunya adalah mesin CNC (*Computerized Numerical Control*). Mesin CNC berkerja berdasarkan *G-Code* yang diberikan operator pada perangkat kendalinya. Salah satu komponen dari mesin CNC adalah *ball screw*.

*Ball screw* merupakan salah satu komponen mekanis yang berada pada mesin CNC yang berfungsi untuk merubah gerakan rotasi menjadi translasi linier. *Ball screw* didesain hanya untuk menahan beban aksial tekan atau tarik, beban aksial yang terjadi tidak boleh melebihi beban aksial kritisnya untuk menghindari tekukan atau *buckling*. *Ball screw* banyak digunakan pada mesin industri karena *ball screw* memiliki kelebihan seperti efisiensi yang tinggi, reversibilitas dan akurasi yang tinggi.

Pada mesin CNC 3 *Axis* yang berada pada ruangan 109 sudah terdapat komponen *housing ball nut screw* dengan material berbahan aluminium. Pada *housing ball nut* aluminium tersebut hanya mempunyai dua lubang baut pengunci apabila pada dua lubang baut tersebut mengalami kerusakan maka proses dari permesinan CNC dapat terhambat karena tidak memiliki cadangan *housing* lain yang siap digunakan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat *housing ball nut* sebagai alternatif dengan menggunakan *3D print* berbahan PLA. PLA memiliki kekuatan yang baik untuk menahan gaya tarik atau tekan. Selain itu, material PLA lebih efisien dalam waktu karena memiliki titik leleh yang rendah dan tidak memerlukan panas bed yang tinggi agar dapat meleleh pada bed.

Sehingga diharapkan pencetakan menggunakan material PLA dapat lebih efisien dalam waktu pencetakan. Kemudian menambah lubang baut pengunci

sesuai dengan lubang yang sudah disediakan pada *ball nut*, diharapkan ketika memaksimalkan enam lubang baut pengunci saat terkena gaya tarik dari pembebanan akan lebih merata dan bisa menjadi opsi sebagai cadangan ketika *housing ball nut* mengalami kerusakan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka perlu dirumuskan terkait masalah-masalah apa saja yang dapat di pecahkan atau di selesaikan pada perancangan, diantaranya yaitu:

1. Bagaimana mengembangkan desain *housing ball nut* yang memiliki nilai estetika dan dari segi performa tidak jauh berbeda dengan *housing ball nut aluminium*?
2. Bagaimana hasil kerja dari proses permesinan CNC menggunakan *housing ball nut* modifikasi?

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Software* yang digunakan adalah *SolidWorks 2021*.
2. Analisis menggunakan *finite element method* dan *topology analysis*.
3. Ukuran *housing ball nut* yang digunakan menyesuaikan dengan ukuran *ball nut* yang dipakai pada mesin CNC 3 *Axis* pada laboratorium sistem manufaktur.

## **1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan**

Tujuan dari perancangan komponen *housing ball nut* ini adalah:

1. Mengembangkan dan merancang *housing ball nut*.
2. Mengetahui hasil kerja permesinan CNC menggunakan *housing ball nut* modifikasi.
3. Mengetahui perbandingan hasil kerja permesinan *housing aluminium* dengan *housing PLA*.

## **1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan**

Manfaat dari perancangan komponen housing *ball screw* ini adalah:

1. Menerapkan *topology analysis* untuk mengurangi biaya produksi pada *housing ball nut*.
2. Hasil modifikasi komponen *housing ball nut* dapat menjadi pertimbangan untuk pengembangan mesin Cedu CNC.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan digunakan untuk mempermudah pembahasan agar perancangan tetap pada jalurnya. Penjelasan mengenai perancangan ini terdiri dari 5 bab dengan urutan bab 1 yaitu pendahuluan adalah bab yang berisi mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan perancangan, manfaat perancangan, dan sistematika penulisa. Bab 2 yaitu tinjauan pustaka merupakan bab yang memuat kajian pustaka yang berasal dari penelitian terdahulu terkait dengan modifikasi desain pada mesin serta teori-teori yang mempertegas dan melandasi perancangan. Bab 3 yaitu metode penelitian merupakan bab yang berisi urutan-urutan dan sistematika penulisan yang dilakukan. Bab 4 yaitu hasil yang berisikan penjelasan mengenai hasil dan pembahasan yang telah dicapai dalam perancangan ini. Bab 5 penutup adalah bab terakhir yang berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil perancangan dari seluruh proses dan saran untuk perancangan.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Pustaka

*Computer Numerical Control* (CNC) adalah mesin perkakas otomatis yang dapat diatur melalui komputer. Diciptakan mesin CNC bertujuan agar pengolahan material dapat lebih efisien dan presisi. Sebelum adanya CNC mesin perkakas konvensional dikendalikan oleh operator manusia. Metode yang dikerjakan membutuhkan banyak waktu, tenaga dan untuk akurasi bergantung pada keahlian operator itu sendiri.

Pada tahun 1949, *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) melakukan penelitian untuk mengembangkan sistem kontrol numerik yang dapat memprogram dan mengontrol mesin perkakas agar lebih efisien. Pada tahun 1958, John T. Pearseon menjadi orang pertama yang mengembangkan prototipe mesin perkakas dengan control numerik menggunakan *G-Code* sebagai intruksi program. Hingga saat ini mesin CNC berkembang terus-menerus, dari segi kemampuan untuk mengatur mesin perkakas yang lebih kompleks dan tingkat presisi semakin tinggi.

Pada zaman sekarang penggunaan mesin CNC tidak hanya dalam bidang industri, dalam bidang pendidikan pun ikut andil dalam penggunaan mesin CNC untuk keperluan dalam proses mengajar. Maka dari itu semakin banyak yang menggunakan mesin CNC maka dalam perkembangannya mesin CNC akan semakin pesat karena banyak penelitian-penelitian yang membahas terkait dengan mesin CNC.

Salah satu penelitian yang dilakukan sebelumnya yaitu oleh Wahyu Ahmadi mengenai “Pembuatan Komponen CNC dengan Kombinasi Material Logam-PLA” penelitian tersebut berfokus pada pembuatan komponen *housing ball nut* dengan menggunakan kombinasi material logam-PLA dan membuat perbandingan hasil pengukuran rata-rata penyimpangan, hasil permesinan bentuk persegi dan garis menggunakan *housing ball nut* berbahan aluminium dan *housing ball nut* kombinasi logam-PLA. (Ahmadi, 2022)

## 2.2 Dasar Teori

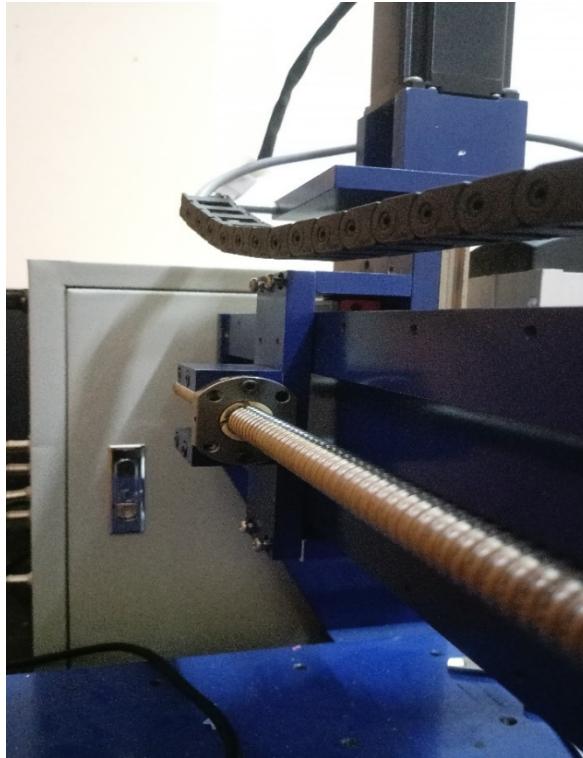
### 2.2.1 Mesin CNC

*Computer Numerical Control* dalam Bahasa Indonesia yaitu komputer kontrol numerik, mesin CNC merupakan mesin yang digunakan dalam proses manufaktur yang biasanya menggunakan kontrol terkomputerisasi dan peralatan mesin. Kelebihan mesin CNC adalah kecepatan, ketelitian, akurasi dan presisi sehingga banyak digunakan untuk produksi massal sebuah produk.

Mesin *milling* CNC sering digambarkan sebagai urutan pergerakan dari sumbu-sumbu. Mesin *milling* 3 axis mampu menggerakkan alat potong kedalam tiga arah secara relatif ke benda kerja (Tangkemanda, A 2008).

Mesin CNC *milling* adalah mesin yang digunakan untuk memotong, membentuk dan menghasilkan benda kerja dengan tingkat kepresisian yang tinggi dengan menggunakan alat potong yang diputar pada kecepatan yang tinggi. Pada tahun 1949, *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) melakukan penelitian untuk mengembangkan sistem kontrol numerik yang dapat memprogram dan mengontrol mesin perkakas agar lebih efisien.

Pada tahun 1958, John T. Pearceon menjadi orang pertama yang mengembangkan prototipe mesin perkakas dengan kontrol numerik menggunakan *G-Code* sebagai intruksi program. Seiring berjalannya waktu mesin NC (*numerical control*) mulai tergantikan dengan mesin CNC dan menjadi standar dalam industri. Mesin CNC mengalami perkembangan dan revolusi pada proses desainnya sehingga semakin canggih. Mesin CNC saat ini telah terhubung dengan program CAD sehingga memudahkan untuk manufaktur.



Gambar 2-1 Penampakan *Housing ball nut* Aluminium pada Mesin CNC

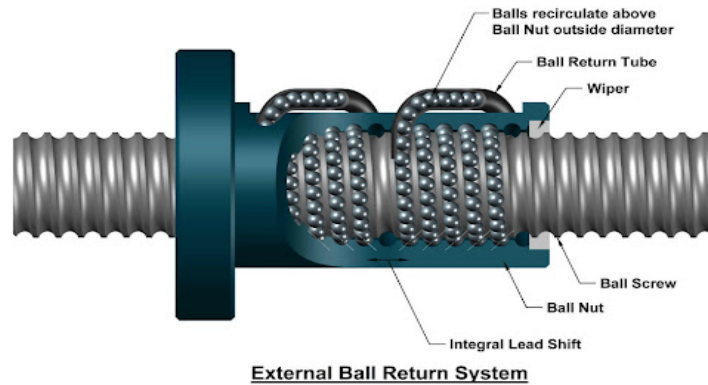
### 2.2.2 *Ball screw*

*Ball screw* merupakan perangkat mekanis yang cukup penting pada mesin perkakas NC, *ball screw* berfungsi sebagai pemindah gerak dari putaran motor aksis menjadi translasi linier bolak-balik meja atau kepala mesin. *Ball screw* hanya didesain untuk menahan beban aksial tekan atau tarik. Selama operasi berlangsung, beban aksial yang terjadi tidak boleh melampaui beban aksial kritisnya untuk menghindari tekukan atau *buckling*. (Rachmanto Hadiputranto, 2007).

*Ball screw* adalah aktuator linier mekanis yang terdiri dari poros sekrup dan mur yang berisi bola yang menggelinding diantara alur heliks yang serasi. Fungsi utama *ball screw* adalah merubah gerakan rotasi menjadi gerakan linier. Mur bola digunakan untuk mentransmisikan gaya ke beban statis atau dinamis dengan akurasi, dan presisi yang tinggi.

Mesin CNC memerlukan *ball screw* dengan *backlash* sekecil mungkin dan deformasi elastis yang yang minim. Usia *ball screw* ditentukan dengan waktu kerja yang diterima oleh *ball screw* semakin banyak kerja maka akan semakin cepat

berkurang usia dari penggunaan *ball screw* itu sendiri karena akibat dari torsi gesekan yang menghasilkan panas.



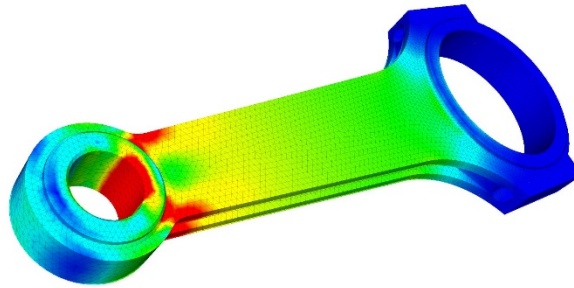
Gambar 2-2 *Ball screw*

Sumber: <http://www.barnesballscrew.com/how-a-ball-screw-works/>

### 2.2.3 *Finite Element Analysis*

*Finite Element Method* atau Metode Elemen Hingga merupakan metode numerik untuk menyelesaikan permasalahan dengan cara membagi objek analisis menjadi bagian kecil yang terhingga. Kemudian bagian kecil tersebut dianalisa dan hasilnya digabung kembali untuk melengkapi keseluruhan daerah. Bagian kecil ini disebut elemen yang terdiri dari titik sudut yang disebut nodal atau *node* dan daerah elemen yang terbentuk dari titik tersebut. Secara matematis, FEM merupakan teknik numerik untuk menyelesaikan *problem* yang dapat dinyatakan dalam persamaan diferensial (Hidayah, 2016).

Analisis statik adalah disiplin teknik yang menentukan tegangan pada material dan struktur yang mengalami gaya atau beban statis maupun dinamis. Tujuan analisis biasanya untuk menentukan apakah elemen atau kumpulan elemen, yang biasanya disebut dengan struktur atau komponen dapat dengan aman menahan kekuatan dan beban yang telah ditentukan. Kondisi ini dapat tercapai saat tegangan yang ditentukan dari gaya yang diaplikasikan kurang dari kekuatan luluh material dalam menahan beban (Wibawa, L.A.N. 2018).

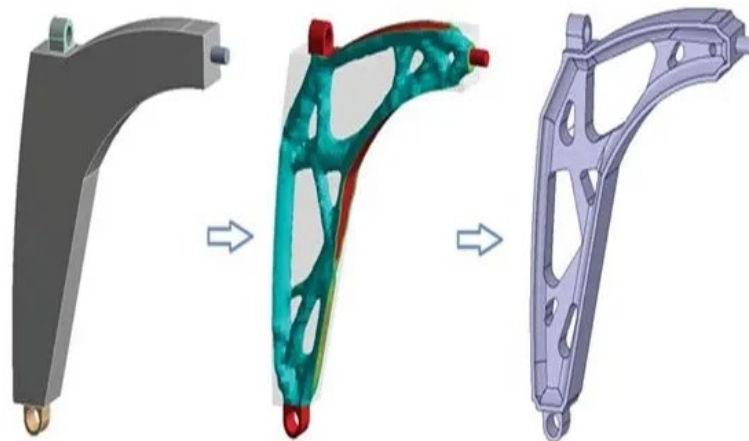


Gambar 2-3 Finite Element Method

Sumber: <https://www.simscale.com/blog/what-is-finite-element-method/>

### 2.2.3.1 Analisis Topologi

*Topology study analysis* merupakan *tool* yang ada pada solidworks, Topologi digunakan untuk mengoptimasi desain yang telah dibuat dengan mengurangi massa pada *part* yang sudah didesain. Hasil akhir dari topologi adalah untuk meringankan *part* yang sudah dibuat tetapi kuat dalam menahan beban.



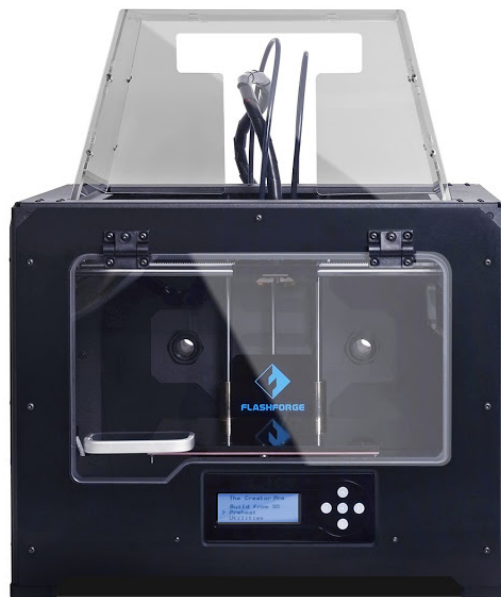
Gambar 2-4 Optimalisasi Topologi

Sumber: <https://www.practicalmachinist.com/will-3d-printing-become-a-staple-in-the-metalworking-industry/>

## 2.2.4 3D Print

3D *printing* adalah teknologi yang mengubah suatu *file* desain digital menjadi objek fisik (3 dimensi). Teknologi 3d *printing* berkembang sejak tahun 1980-an membawa perubahan besar pada dunia, khususnya dalam dunia manufaktur (Schwab, 2019).

3D *printing* biasa digunakan untuk membuat *prototype* dengan cepat dengan tujuan untuk meningkatkan desain dan fungsi sebelum produksi, penggunaan 3d *printing* banyak digunakan karena biaya dan bahan yang lebih murah dan mudah didapatkan, dan proses pembuatan produk dengan 3d *printing* dapat menghemat waktu dan tenaga. Berbagai macam bahan yang bisa digunakan untuk proses 3d *printing* seperti termoplastik, resin, dan logam.



Gambar 2-5 Mesin 3D *Printing* Flashforge Creator Pro

Sumber: <https://www.printerplayground.com/flashforge-creator-pro-dual-extrusion-3d-printer-2-spools-filament>

Di era digital seperti sekarang teknologi 3d *printing* telah merevolusi banyak sektor industri hingga sektor pendidikan dengan kemampuannya yang unik dalam memproduksi sebuah objek. Proses pembuatan desain menggunakan perangkat lunak desain 3D seperti *SolidWorks*. Pada proses pembuatan desain

dapat memperhatikan detail geometris objek seperti dimensi dan bentuk. Format *file* yang digunakan berupa STL yang nantinya akan dimasukkan kedalam *software 3D printing*.

### 2.2.5 *Polylactic Acid (PLA)*

Material yang biasa digunakan dalam *3D printing* yaitu PLA, yang membedakan PLA dengan polimer termoplastik yang lain adalah bahan dasarnya. *Polylactic Acid (PLA)* mempunyai potensi yang sangat menjanjikan sebagai bahan alam terbarukan untuk pembuatan plastik (Rahmayetty, dkk 2018). PLA bersifat keras, kuat, dan *biodegradable* tetapi juga rapuh karena didasarkan pada pati tanaman bukan dari minyak mentah. PLA adalah termoplastik *biodegradable* yang didapat dari sumber terbarukan seperti tepung maizena, tepung tapioka. PLA menjadi bahan yang ramah lingkungan jika di bandingkan dengan ABS atau PVA (Kalpakjian & Schmid, 2003).

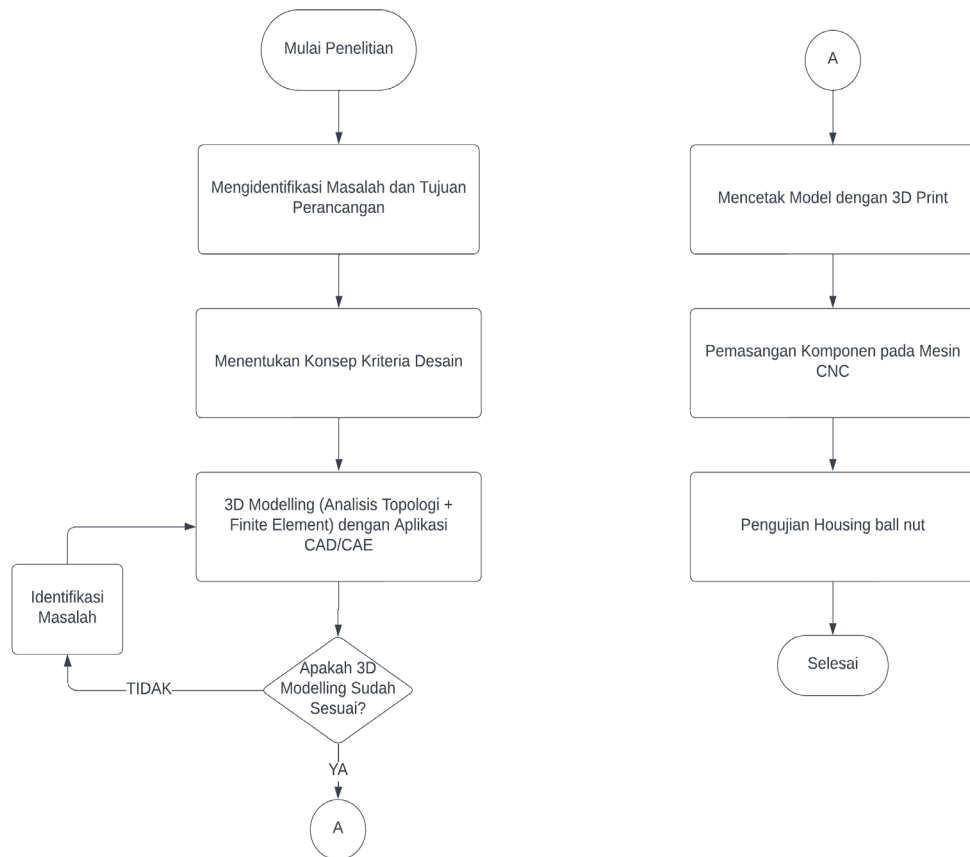
Tabel 2-1 *Properties of PLA*

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2960	N/mm <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.35	N/A
Shear Modulus	2400	N/mm <sup>2</sup>
Mass Density	1.24e-06	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	50	N/mm <sup>2</sup>
Compressive Strength	48.2	N/mm <sup>2</sup>
Yield Strength	49	N/mm <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient		/K
Thermal Conductivity	0.2256	W/(m·K)
Specific Heat	1386	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

# BAB 3

## METODE PENELITIAN

### 3.1 Alur Penelitian



Gambar 3- 1 Alur Penelitian

## 3.2 Perancangan

Proses perancangan *housing ball nut* ini meliputi penentuan kriteria konsep desain, desain, analisis komponen *housing ball nut* dan proses pencetakan *housing ball nut* menggunakan 3D *print*.

### 3.2.1 Kriteria Desain

Kriteria desain yang digunakan pada perancangan ini yaitu dapat dilihat pada tabel 3-1.

Tabel 3- 1 Kriteria Desain

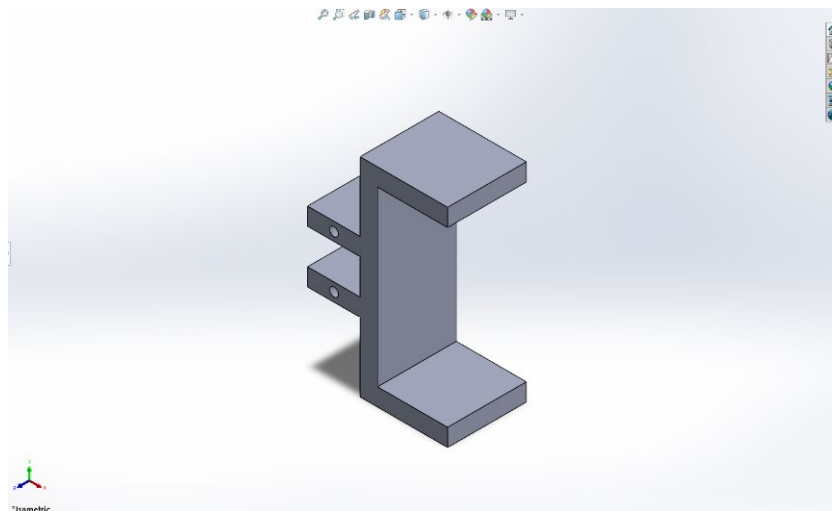
MUST	WANT	WISH
Mampu mengoptimalkan lubang baut ball nut	Perancangan memungkinkan untuk manufaktur	Mampu dipasang pada mesin CNC lain dengan jenis ball nut yang sama
Mampu menahan beban yang bekerja pada mesin CNC	Memiliki estetika bentuk yang lebih baik dari versi sebelumnya	
Mudah dalam pemasangan		

### 3.2.2 Pra Produksi Desain *Housing ball nut*

#### 3.2.2.1 Desain 3 Dimensi

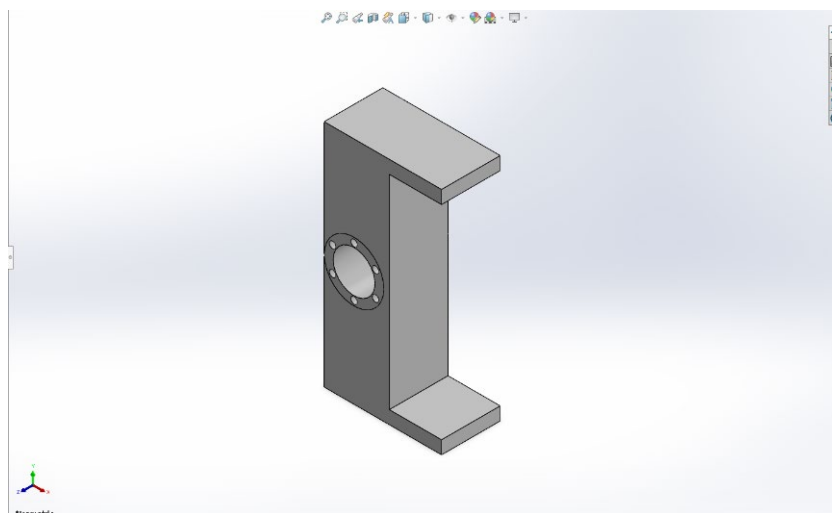
Setelah menentukan konsep kriteria desain *housing ball nut*, pada proses selanjutnya adalah pembuatan pemodelan CAD atau desain 3 dimensi. Pemodelan ini dibuat dengan mempertimbangkan ukuran seperti panjang, lebar dan ukuran *ball nut* yang akan digunakan. Kemudian mempertimbangkan komponen-komponen yang ada di sekitar tempat terpasangnya *housing ball nut* seperti komponen *spindle carriage*. Hal ini bertujuan agar *housing ball nut* tidak bertabrakan dengan komponen lainnya dan dapat dipasangkan pada *spindle carriage* dengan mudah.

Untuk desain awal *housing ball nut* sebelumnya dapat dilihat pada gambar 3-2 dibawah ini :



Gambar 3- 2 *Housing ball nut* Alumunium

Untuk desain *housing ball nut* modifikasi dapat dilihat pada gambar 3-3 dibawah ini:



Gambar 3- 3 *Housing ball nut* Modifikasi

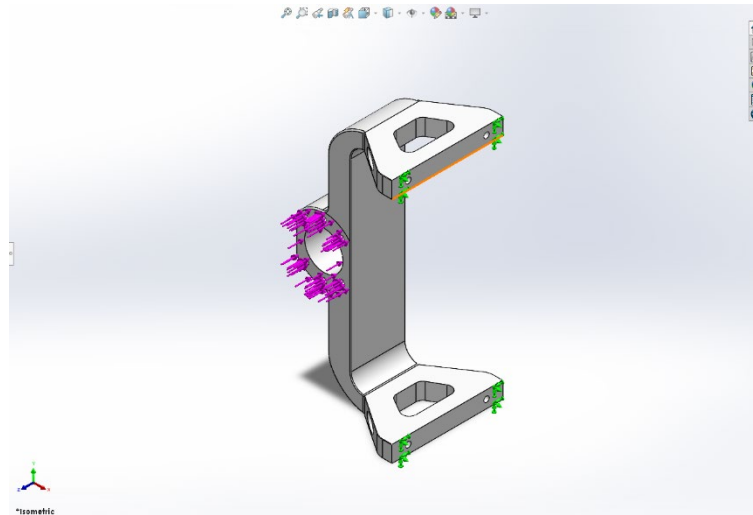
### 3.2.2.2 Metode Analisis

Pada metode analisis ini, merupakan tahapan pemilihan jenis analisis, pembuatan model, pemberian beban, tumpuan, *meshing*, jenis material dan kondisi batas lainnya yang diperlukan.

a. Analisis Statis

Pada tahapan analisis statis bertujuan untuk mengetahui ketahanan struktur yang sudah didesain sebelum dilakukannya proses pencetakan. Analisis statis digunakan untuk mengetahui kuat atau tidaknya struktur yang sudah di desain.

1. Peletakan Pembebanan dan Tumpuan



Gambar 3-4 Peletakan Beban dan Tumpuan

Pada gambar 3-4 proses pengujian analisis statis yang akan dilakukan untuk mengetahui kekuatan model. Metode analisis statis ini memberikan batas agar model diharapkan sesuai dengan kondisi aslinya. Batasan tersebut meliputi:

- Beban : 275N
- Jenis Tumpuan : Jepit
- Jenis Material : PLA+

Terlihat pada gambar diatas warna hijau merupakan area letak tumpuan yang berada pada bawah kaki *housing ball nut*, sedangkan untuk warna ungu menunjukan area letak beban yang berada pada lubang *housing ball nut*, letak area penampang yang diberikan beban disesuaikan dengan gaya reaksi dari pergerakan *ball screw*, area tersebut diasumsikan sebagai titik kritis. Beban diasumsikan sebesar 275N, nilai tersebut didapatkan dari asumsi perhitungan gaya yang

direncanakan pada sumbu Z dari model tersebut. Batasan mengenai perhitungan gaya yang akan dihitung untuk yang diketahui sebagai berikut:

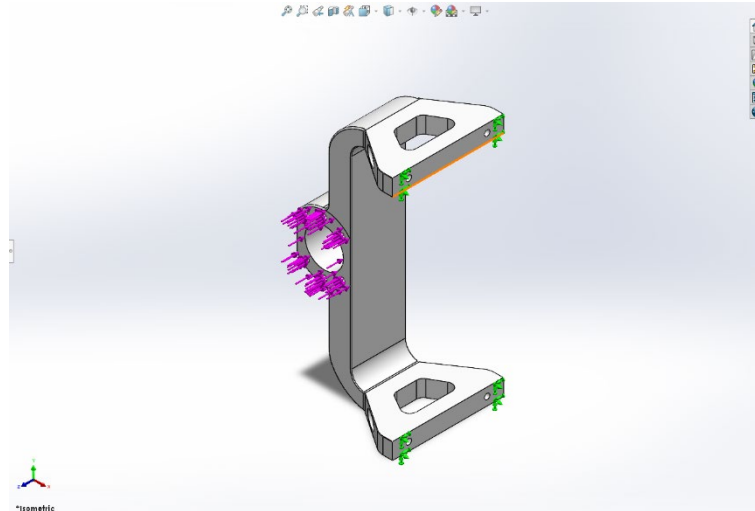
- Jenis Motor yang digunakan : Motor Stepper 57BHH82-300E-21BE
- Jenis Ball Nut Screw : R-16 5T3 FSI
- Diameter Shaft : 16 mm  
 $r = 0.008 \text{ m}$
- Torsi Motor : 2.2 Nm

Untuk mencari gaya yang sesuai kearah sumbu Z (N) dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$T = F \times r \qquad F = \frac{T}{r} \qquad (3.1)$$
$$F = \frac{2.2 \text{ Nm}}{0.008 \text{ m}}$$
$$F = 275 \text{ N}$$

T merupakan besarnya torsi yang dihasilkan oleh motor dalam Nm, sedangkan F merupakan gaya yang direncanakan pada sumbu X dalam N, dan r merupakan jari-jari *shaft* linier dalam m. Sehingga gaya yang diasumsikan pada sumbu Z sebesar 275 N.

## b. Analisis Topologi

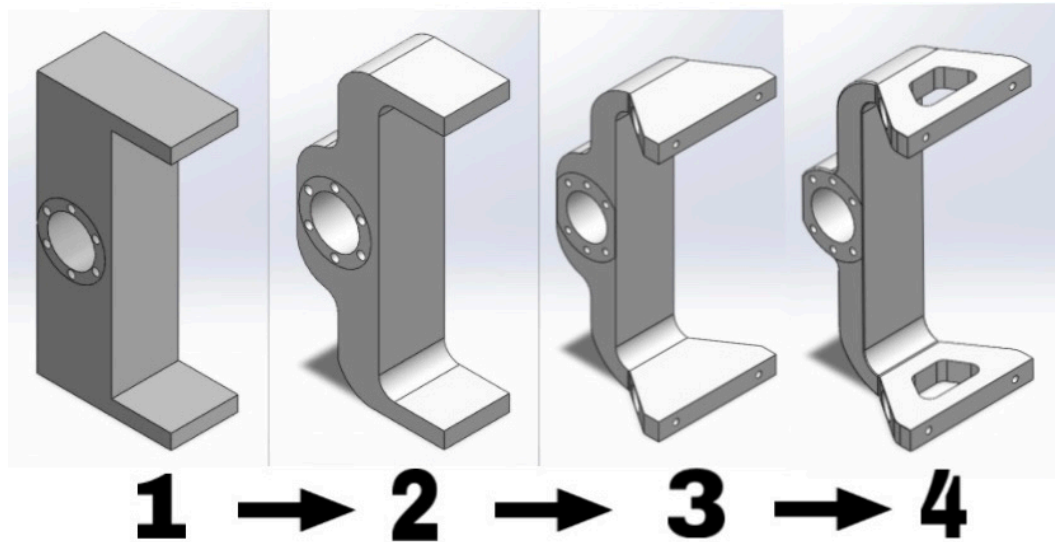


Gambar 3-5 Hasil akhir Analisis Topologi

Pada tahapan awal dilakukannya analisis topologi yang bertujuan untuk mengoptimalkan desain yang sudah dibuat dengan mengurangi massa pada bagian yang menunjukkan reaksi pembebanan yang paling minimal. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan desain yang ideal dan tentunya dapat mengurasi biaya pada proses manufaktur.

Pada gambar 3-5, terdapat dua warna yang berbeda, warna ungu menunjukkan peletakan beban pada lubang *housing ball nut* dan lubang baut, beban ini dipilih karena dapat mewakili dari gaya reaksi *ball screw* yang mentransmisikan gaya dari motor linier. Arah panah menunjukkan kearah sumbu Z berdasarkan koordinat desain yang telah dibuat, sedangkan untuk warna hijau menunjukkan tumpuan, untuk jenis tumpuan yang digunakan adalah tumpuan jenis jepit.

Setelah melakukan analisis topologi maka desain dikonversi dengan tujuan untuk menghilangkan bagian yang dapat dilakukannya pengurangan material. Kemudian setelah dikonversi desain yang masih berbentuk kasar akan di desain ulang dan diperbaiki. Hasil akhir untuk desain ini adalah untuk mendapatkan desain yang optimal.



Gambar 3- 6 Proses Perubahan Bentuk Hasil Topologi

Pada gambar nomor 1 merupakan konsep desain yang nantinya akan dilakukannya perhitungan analisis topologi. Pada gambar 3-6 nomor 1 desain yang kurang ideal mengakibatkan kurangnya estetika sehingga perlu dilakukannya peninjauan ulang agar desain yang dibuat sesuai dengan kriteria yang diinginkan.

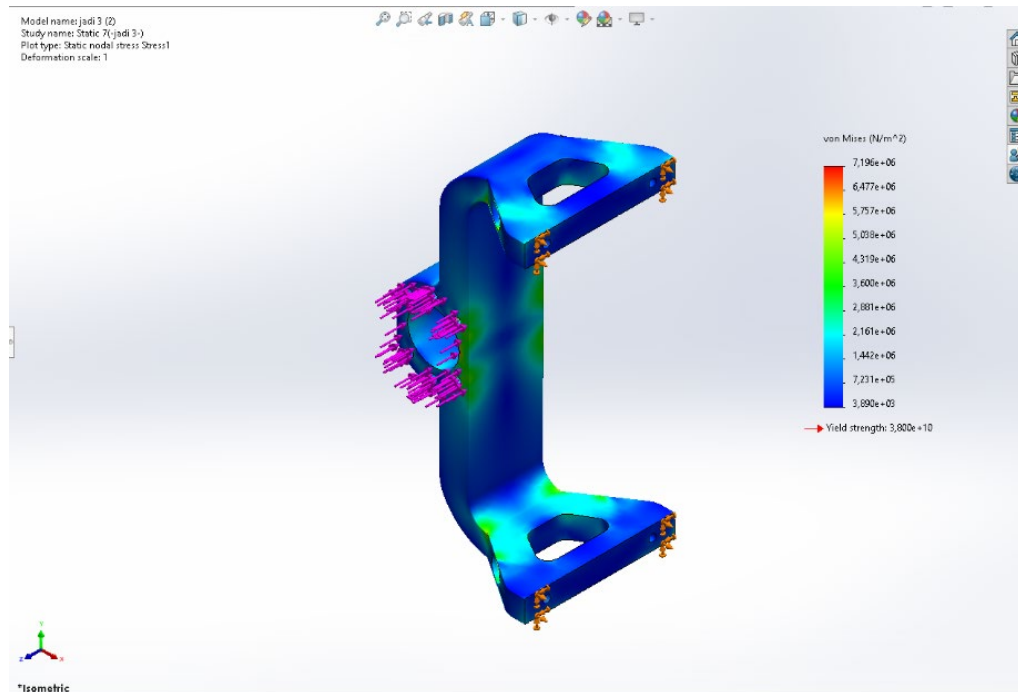
Pada gambar nomor 2 pada gambar tersebut sudah banyak perubahan jika dibandingkan dengan model yang terdapat pada nomor 1, perubahan tersebut dilakukan berdasarkan analisis topologi dan menggunakan *feature fillet* untuk memperindah bentuk dari *housing ball nut*. Pada desain *housing ball nut* nomor 2 masih terdapat kekurangan yaitu tidak ada tempat untuk mengunci *housing ball nut* pada *spindle carriage*.

Pada gambar nomor 3 *housing ball nut* merupakan kelanjutan dari desain nomor 2, pada desain *housing ball nut* nomor 2 masih terdapat kekurangan yaitu *housing ball nut* belum adanya tempat untuk memasang *housing ball nut* pada komponen *spindle carriage*. Pada gambar nomor 3 merupakan hasil peninjauan ulang untuk membuat tempat agar baut atau *screw* sebagai penghubung antara *housing ball nut* dengan *spindle carriage*.

Pada gambar no 4 merupakan hasil akhir setelah melakukan peninjauan ulang dan perbaikan desain. Setelah melakukan peninjauan ulang ada pengurangan massa secara keseluruhan terutama yang terlihat pada bagian kaki *housing ball nut*

dengan tujuan untuk meringankan *housing ball nut* dan menambah estetika bentuk *housing ball nut* itu sendiri. Hasil optimalisasi desain yang dilakukan dengan mengurangi massa pada *housing ball nut* semaksimal mungkin tanpa mengurangi kekuatan tekannya.

### 3.2.2.3 Stress



Gambar 3-7 Analisis Statis – Tegangan (*Stress*)

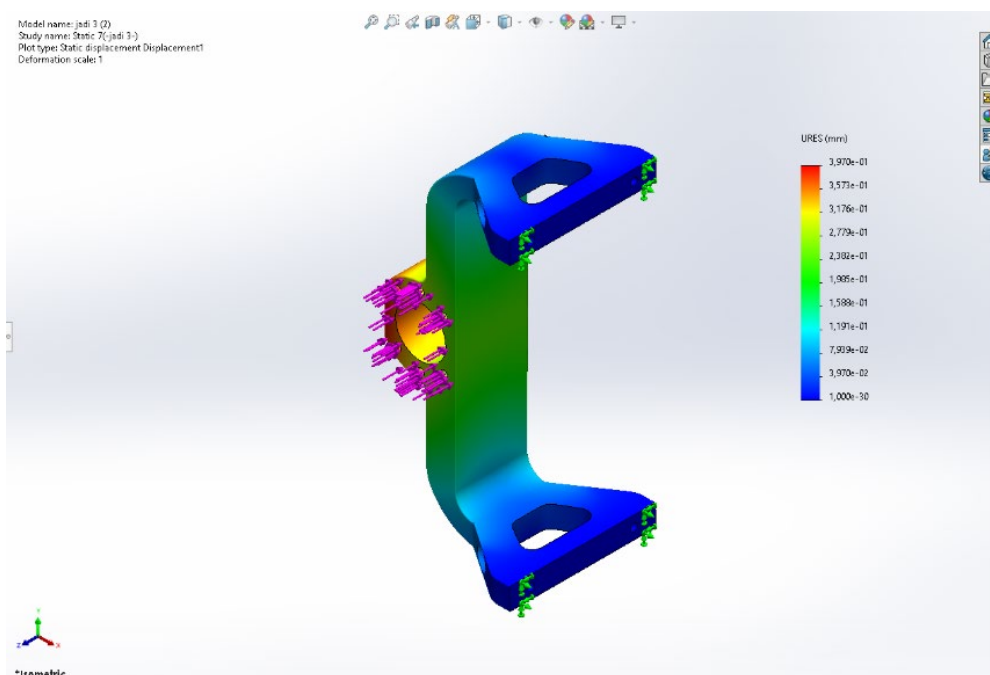
Pada bagian ini menunjukkan area tegangan yang diterima oleh *part* ketika sudah diberikan beban atau gaya yang berkerja. Pada gambar diatas 3-7 menunjukkan beberapa indikator warna yang berbeda, warna tersebut menunjukkan besar kecilnya tegangan yang terjadi pada *housing ball nut* ketika sudah diberi beban. Warna biru menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi pada area tersebut kecil, sedangkan untuk warna hijau dan kuning menunjukkan bahwa pada area tersebut tegangan berukuran sedang, dan warna merah pada area tersebut menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi pada area tersebut berukuran besar.

Tegangan terbesar terdapat pada indikator warna merah, tegangan yang terjadi pada titik tersebut sebesar 7.196 MPa, Jika dibandingkan dengan kekuatan luluh dari material *polylactic acid* (PLA) sebesar 26.082 MPa, sehingga dapat

disimpulkan dari gambar diatas bahwa tegangan yang terjadi pada *housing ball nut* dikatakan aman ketika diberi beban sebesar 275 N.

### 3.2.2.4 Displacement Result

*Displacement* adalah perubahan jarak yang dikenai gaya. Pemilihan letak gaya seperti pada gambar 3-8 lokasi tersebut dipilih karena merupakan lingkaran tempat *housing ball nut*, sehingga dapat diasumsikan bahwa lokasi tersebut adalah bagian yang terkena beban oleh *ball screw* dan dapat diasumsikan bahwa lokasi tersebut merupakan lokasi kritis.

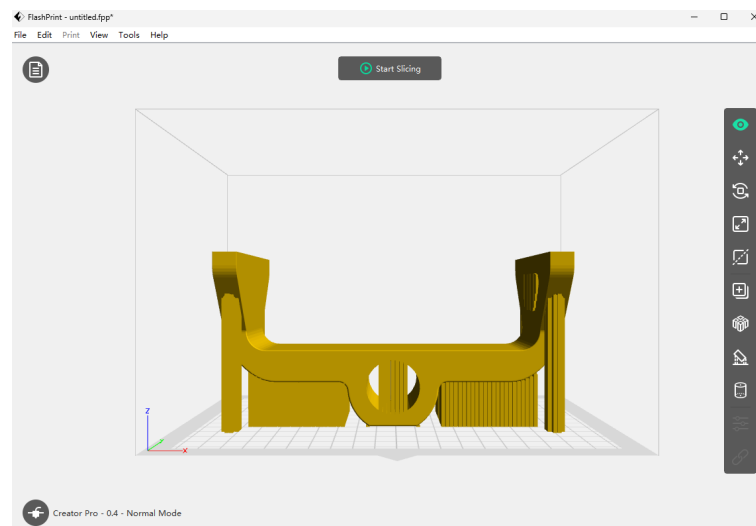


Gambar 3- 8 Analisis Statis – Perubahan Jarak (*Displacement*)

Warna-warna pada gambar 3-8 menunjukkan besar dan kecilnya perpindahan bentuk yang terjadi pada setiap lokasi pada *housing ball nut*. Pada lokasi yang berwarna biru, perpindahan bentuk yang terjadi berkisar antara 0 - 0.03 mm warna kuning menunjuka perpindahan bentuk yang terjadi berkisar antara 0.31 mm sedang untuk perpindahan bentuk maksimal terjadi pada lokasi yang berwarna merah yaitu sebesar 0.39 mm.

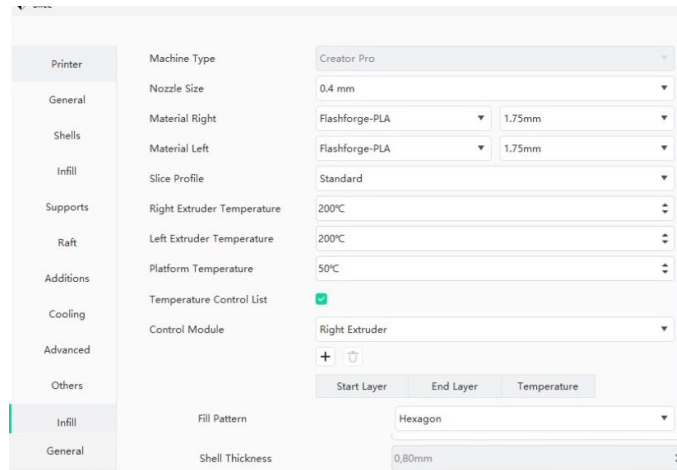
### 3.2.3 Proses Produksi *Housing ball nut*

Setelah melakukan analisis statis dan optimasi desain menggunakan analisis topologi kemudian model 3D diekspor kedalam format STL. File STL diinput kedalam *software Flashprint 5* untuk mengatur strategi yang akan digunakan dalam proses pencetakan 3D *printing*. Ada beberapa parameter yang diatur sesuai dengan kebutuhan yaitu menentukan jenis dan ukuran dari *filament* yang akan digunakan, *infill density*, *type support* dan *infill pattern*. Pemilihan *pattern* untuk pembuatan *housing ball nut* ini yaitu *honeycomb* sedangkan untuk variasi dari *infill density* yaitu 80% dan 100%. Pemilihan *support* yang akan digunakan yaitu *grid* dan orientasi cetak disesuaikan dengan kebutuhan.

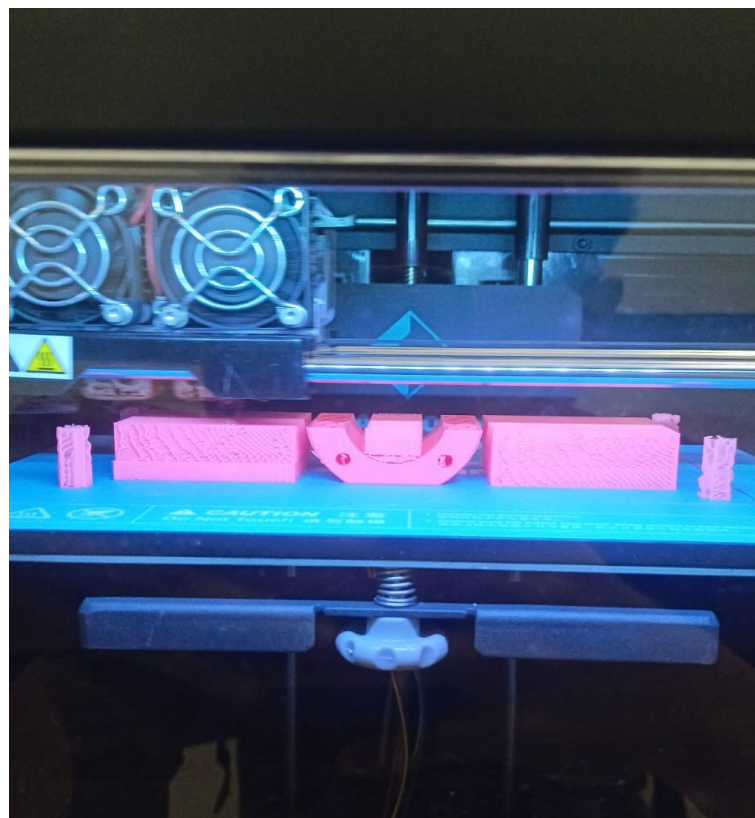


Gambar 3-9 Tampilan Simulasi dan Estimasi *Flashprint*

Selanjutnya sebelum melakukan proses pencetakan, masuk kedalam proses *setting* dan kalibrasi mesin dimulai dari mengatur ketinggian, memanaskan *bed*, memanaskan *nozzle* dan *preload filament*. Setelah melakukan *setting* dan kalibrasi mesin siap digunakan. Mesin yang digunakan pada pencetakan prototipe *housing ball nut* ini adalah mesin 3D *printing Flashforge Creator Pro* dengan kapasitas cetak 200mm x 150mm x 150mm. *Filament* berjenis PLA dengan ukuran 1.75mm merupakan material yang dipilih.



Gambar 3-10 Pengaturan Parameter



Gambar 3- 11 Proses Cetak *Housing ball nut*

Proses pencetakan 3D *print housing ball nut* berbeda-beda tergantung dengan *infill* yang digunakan. Pada *housing ball nut* dengan *infill* 80% proses pencetakan memakan waktu selama 19 jam 43 menit dengan estimasi berat produk yaitu 123 g sedangkan untuk *housing ball nut* untuk *infill* 100% pencetakan

*housing ball nut* memakan waktu selama 1 hari 2 jam 53 menit dengan estimasi berat produk 241 g.

Kemudian hasil pencetakan *housing ball nut* masuk kedalam proses *finishing* dengan amplas diharapkan bagian-bagian sisa *support* yang belum hilang secara merata pada proses pengamplasan ini dapat hilang, sehingga bentuknya sesuai dengan yang diinginkan. Saat proses pencetakan penulis mengalami kegagalan, kegagalan tersebut terjadi karena beberapa faktor seperti *filament* tidak keluar dari *noozle*, *filament* tersangkut pada *noozle*, mati listrik, bergesernya *bed* sehingga proses pencetakan menjadi miring dan ukuran dimensi baut yang belum sesuai.

Maka dari itu penulis melakukan beberapa kali percobaan pencetakan sebanyak tujuh kali untuk mendapatkan hasil yang optimal. Kemudian *housing ball nut* hasil pencetakan satu persatu nantinya akan di ujicoba pada mesin CNC 3Axis yang terdapat pada ruangan 1.09. Uji coba *housing ball nut* bertujuan untuk mengetahui kekuatan dan keakurasian dimensi hasil dengan melakukan proses pemesinan dengan memotong benda kerja berbahan akrilik. Hasil akhir pencetakan komponen *ball nut* dengan menggunakan mesin 3D *print* dapat dilihat pada gambar 3-12 dibawah ini:



Gambar 3-12 Hasil Pencetakan 3D *Print*

### **3.3 Peralatan dan Bahan**

Peralatan yang digunakan dalam perancangan dan pembuatan *housing ball nut* adalah sebagai berikut:

1. *Solidworks 2021*,
2. Mesin CNC Cedu 3 *Axis*,
3. Mesin 3D *Printer*
4. *FlashPrint5*
5. Laptop

Bahan yang digunakan dalam perancangan dan pembuatan *housing ball nut* ini adalah sebagai berikut:

1. *Filament PLA 1.75 mm*

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Perancangan

Hasil perancangan *housing ball nut* merupakan hasil akhir dari modifikasi desain dengan memanfaatkan topologi sebagai salah satu acuan untuk membuat desain. Hasil desain akhir kemudian akan dicetak dengan *3D printing* menggunakan material PLA hingga pada akhirnya dilakukannya proses pengujian.

#### 4.2 Hasil Pengujian

Setelah melakukan pemasangan *housing ball nut* terhadap mesin CNC maka selanjutnya dilakukan pengujian terhadap *housing ball nut* modifikasi berbahan material PLA. Proses pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan dimensi hasil pengujian *housing ball nut* berbahan aluminium yang telah terpasang sebelumnya dengan *housing ball nut* modifikasi berbahan PLA.

Proses pengujian dilakukan dengan menggunakan akrilik dengan ukuran 80x90 mm dengan ketebalan 10mm, kemudian pada akrilik tersebut dibuat pola desain persegi panjang dengan ukuran 30x35mm. Tujuan dari proses pengujian ini untuk membandingkan hasil permesinan dengan *housing ball nut* berbahan aluminium sebelumnya kemudian pada *housing ball nut* berbahan PLA dengan *infill* 80% dan 100%.

Terdapat variasi permesinan yang digunakan dalam pengujian *housing ball nut*, parameter tersebut adalah *feedrate* dan *step over*, untuk *feedrate* berpengaruh terhadap kecepatan pergerakan *spindle carriage*, nilai *feedrate* yang digunakan adalah 100, 110, 120 dan 130. Sedangkan untuk *step over* berpengaruh terhadap jarak pemakanan setiap *layer* pada benda kerja, variasi nilai *step over* yang digunakan adalah 1.5, 1, 0.8, 0.5.

- Pengujian dengan Pola Desain Persegi Panjang

Untuk mengetahui perbandingan dimensi hasil pengujian terhadap benda kerja dengan menggunakan *housing ball nut* aluminium dengan *housing ball nut* modifikasi *infill 80%* dapat dilihat pada tabel 4-1 dibawah ini:

Tabel 4- 1 Data Pengujian Perbandingan Dimensi Pola Desain Persegi Panjang

Parameter	Ukuran yang diinginkan	<i>Housing</i> Alumunium	Presentase perbedaan dimensi (%)	<i>Housing infill 80%</i>	Presentase perbedaan dimensi (%)
Feedrate 100,Step over 1.5	35mm	36.25	3.4	36.25	3.4
Feedrate 110,Step over 1		36.3	3.5	36.3	3.5
Feedrate 120,Step over 0.8		36.25	3.4	36.25	3.4
Feedrate 130, Step over 0.5		36.3	3.5	36.3	3.5

Dapat dilihat pada tabel 4-1 merupakan data hasil permesinan pada benda kerja berbahan akrilik dengan menggunakan *housing* berbahan aluminium dan *housing* modifikasi dengan variasi 80%. Perbedaan data hasil pengujian nantinya akan diolah untuk dilakukan perhitungan dengan tujuan mengetahui persentase rata-rata perbedaan dimensi dari masing-masing *housing*.

Rata-rata selisih dari hasil pemesinan *housing* aluminium dengan ukuran yang diinginkan:

$$\text{Rata-rata} = \frac{\text{jumlah presentase perbedaan dimensi}}{\text{jumlah percobaan}} = 3.45$$

Rata-rata selisih dari hasil pemesinan *housing* modifikasi *infill 80%* dengan ukuran yang diinginkan:

$$\text{Rata-rata} = \frac{\text{jumlah presentase perbedaan dimensi}}{\text{jumlah percobaan}} = 3.45$$

Untuk mengetahui perbandingan dimensi hasil pengujian terhadap benda kerja dengan menggunakan *housing ball nut* aluminium dengan *housing ball nut* modifikasi *infill* 100% dapat dilihat pada tabel 4-2 dibawah ini:

Tabel 4- 2 Data Pengujian Perbandingan Dimensi Pola Desain Persegi Panjang

Parameter	Ukuran yang diinginkan	<i>Housing</i> Alumunium	Presentase perbedaan dimensi (%)	<i>Housing infill</i> 100%	Presentase perbedaan dimensi (%)
Feedrate 100, Step over 1.5	35mm	36.25	3.4	36.3	3.5
Feedrate 110, Step over 1		36.3	3.5	36.3	3.5
Feedrate 120, Step over 0.8		36.25	3.4	36.2	3.2
Feedrate 130, Step over 0.5		36.3	3.5	36.25	3.4

Dapat dilihat pada tabel 4-2 merupakan data hasil permesinan pada benda kerja berbahan akrilik dengan menggunakan *housing* berbahan aluminium dan *housing* modifikasi dengan variasi 100%. Perbedaan data hasil pengujian nantinya akan diolah untuk dilakukan perhitungan dengan tujuan mengetahui persentase rata-rata perbedaan dimensi dari masing-masing *housing*.

Rata-rata selisih dari hasil permesinan *housing* aluminium dengan ukuran yang diinginkan:

$$\text{Rata-rata} = \frac{\text{jumlah presentase perbedaan dimensi}}{\text{jumlah percobaan}} = 3.45\%$$

Rata-rata selisih dari hasil permesinan *housing* modifikasi *infill* 100% dengan ukuran yang diinginkan:

$$\text{Rata-rata} = \frac{\text{jumlah presentase perbedaan dimensi}}{\text{jumlah percobaan}} = 3.4\%$$

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pengukuran menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0.05 mm, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *housing ball nut modifikasi* dengan variasi *infill* 80% dan 100% yang menggunakan material berbahan PLA secara kualitas tidak jauh berbeda dengan *housing ball nut* berbahan aluminium.

Secara keseluruhan akurasi pemakanan pada *housing ball nut* modifikasi dengan *infill* 100% sedikit lebih baik dibandingkan dengan *housing ball nut* aluminium yang dijadikan sebagai acuan. Perbedaan persentase hasil pengujian penyimpangan dimensi untuk *housing ball nut* aluminium yaitu 3.45% sedangkan untuk *housing ball nut* modifikasi dengan *infill* 100% yaitu 3.4%.

Tabel 4- 3 Estimasi Harga

No.	Bahan <i>Housing Ball Nut</i>	Estimasi harga
1.	Aluminium	Rp.260.000,00
2.	PLA	Rp.82.500,00

Dapat dilihat pada tabel 4-3 merupakan data estimasi harga permesinan untuk masing-masing bahan yang digunakan untuk membuat *housing ball nut*. Pada *housing ball nut* berbahan aluminium estimasi biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 260.000,00, sedangkan untuk *housing ball nut* berbahan PLA estimasi biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 82.500,00. *Housing ball nut* aluminium dari proses manufaktur relatif lebih mahal jika dibandingkan dengan *housing ball nut* berbahan PLA.

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada perancangan *housing ball nut*, memiliki beberapa kesimpulan yaitu:

1. Pembuatan *housing ball nut* menggunakan 3D print berbahan PLA dapat menahan beban sebesar 275N dan dapat menjadi pertimbangan untuk pengembangan mesin CNC 3 axis karena memiliki nilai estetika bentuk yang lebih menarik dan mudah dalam proses manufaktur dengan desain yang kompleks.
2. *Housing ball nut* modifikasi mampu menahan beban yang diberikan dengan baik tanpa mengalami perubahan bentuk yang berarti.
3. Pembuatan *housing ball nut* menggunakan 3D printing memiliki performa yang mendekati dengan performa *housing ball nut* berbahan aluminium.

#### **5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya**

Setelah melakukan perancangan struktur mekanik komponen *housing ball nut*, terdapat beberapa saran untuk pengembangan dan perbaikan hasil perancangan selanjutnya, yaitu :

1. Penggunaan komponen 3D printing dapat diaplikasikan ke komponen lain.
2. Pencetakan dengan 3D printing dapat memperhatikan parameter yang sebelumnya tidak digunakan sebagai acuan dalam proses pencetakan komponen *housing ball nut*.
3. Melakukan penelitian lebih lanjut terkait dengan penggunaan jangka panjang komponen *housing ball nut* modifikasi dengan kombinasi material Logam-PLA.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, W. (2022). *Pembuatan komponen CNC dengan Kombinasi Material Logam-PLA*
- Hadiputranto, R. (2007). Analisis kekuatan *ball screw* aksis z terhadap beban tekan aksial pada vertical machining center pindad-fanuc mc 07-pf. *Transmisi*, 3(1), 241-248.
- Hidayah, a. N. (2016). Perancangan *scissors lift* pada kendaraan *garbarata* (doctoral dissertation, Universitas Negeri Jakarta).
- Schwab, K. (2019). *Revolusi Industri Keempat*. Gramedia Pustaka Utama.
- Whulanza, Y., Rahman, S. F., Suyono, E. A., Yohda, M., & Gozan, M. (2018). Use of *Candida rugosa* lipase as a biocatalyst for L-lactide ring-opening polymerization and polylactic acid production. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 16, 683-691.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2003). *Manufacturing processes for engineering materials, and systems. Material Removal Process: Cutting, 4th ed., Pearson Education, Upper Saddle River, NJ, 452.*
- Tangkemanda, A. (2008). Perancangan skema pergerakan mesin 5-axis untuk menghindari *collision* (Doctoral dissertation, Universitas Indonesia. Fakultas Teknik).
- Wibawa, L. A. N. (2018). *Simulasi Kekuatan Komponen Sarana Pengujian Roket Menggunakan Autodesk Inventor Professional 2017.*



