

DESAIN SAMBUNGAN BATANG PADA MESIN *3D PRINTING*

TIPE DELTA

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Marroli Meilanov

No. Mahasiswa : 14525002

NIRM : 2014030007

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

2018

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

“ Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan orang lain untuk memperoleh gelar sarjana di suatu program studi perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali secara diacu dalam penulisan naskah ini dan disebutkan sebagai referensi. Apabila kemudian hari terbukti pernyataan ini tidak benar, saya sanggup menerima hukuman atau sanksi sesuai hukuman yang berlaku.”

Yogyakarta, 15 November, 2018



Marroli Meilanov

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**DESAIN SAMBUNGAN BATANG PADA MESIN 3D PRINTING
TIPE DELTA**



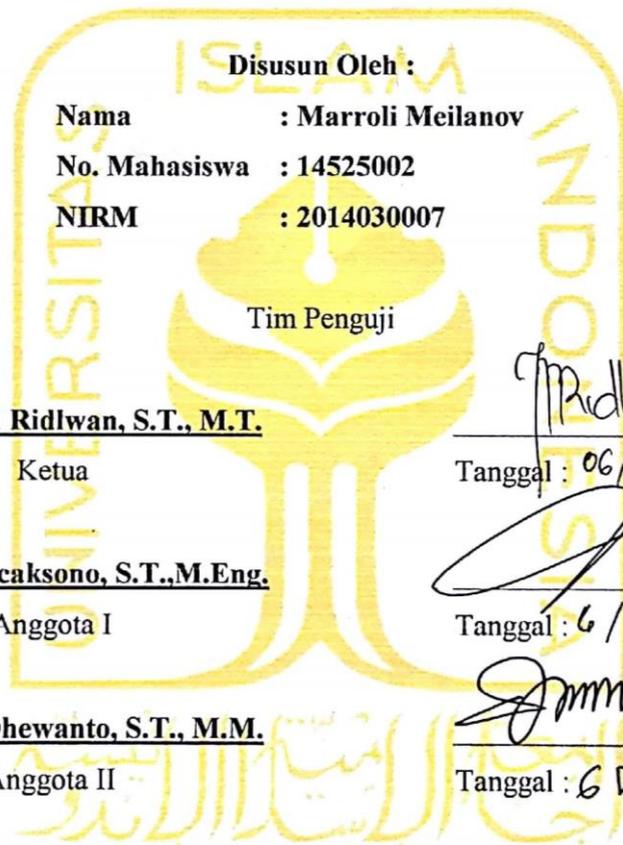
Pembimbing,

Muhammad Ridlwan ,S.T.,M.T.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**DESAIN SAMBUNGAN PADA MESIN 3D PRINTING TIPE
DELTA**

TUGAS AKHIR



Disusun Oleh :

Nama : Marroli Meilanov

No. Mahasiswa : 14525002

NIRM : 2014030007

Tim Penguji

Muhammad Ridlwan, S.T., M.T.

Ketua

Tanggal : 06/12/2018.

Arif Budi Wicaksono, S.T., M.Eng.

Anggota I

Tanggal : 6/12/2018

Santo Aje Dhewanto, S.T., M.M.

Anggota II

Tanggal : 6 Desember 2018

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng. Risdiveno, S.T., M.Eng.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji Syukur atas kehadiran Allah Subhanahu wata'ala yang telah melimpahkan rahmat hidayahNya kepada semua makhlukNya. Dengan kekuatan yang engkau berikan dan kasih sayang yang engkau pancarkan, sehingga dapat terselesaikannya Laporan Tugas Akhir yang sederhana ini.

Sholawat dan salam kita panjatkan kepada nabi kita Muhammad Shollallahu'alaihi wassalam yang telah membawa Islam sebagai agama penyelamat sebagai pemberi safa'at pada hari akhir nanti.

Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk kedua orang tua yang senantiasa memanjatkan doa dan harapan hingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Tak pernah pudar dalam ingatan ini tentang bagaimana kedua orang tua penulis memberi semangat dan arahan.

Kepada kakakku Meirio Amerov S.T yang selalu memberikan motivasi dan semangat tentang bagaimana memaknai sebuah perjalanan hidup kepada penulis.

Teman seperjuangan teknik mesin 14 yang telah memberi warna dalam masa pendidikan kepada penulis.

Tugas Akhir ini akan menjadi batu loncatan penulis dalam menempuh perjalanan selanjutnya, semoga amal dan perbuatan orang – orang dibalik penulisan laporan tugas akhir ini mendapat Rahmat dari Allah SWT

HALAMAN MOTTO

وَإِذْ تَأَذَّنَ رَبُّكُمْ لَئِن شَكَرْتُمْ لَأَزِيدَنَّكُمْ وَلَئِن كَفَرْتُمْ إِنَّ عَذَابِي لَشَدِيدٌ ﴿٧﴾

Dan (ingatlah), tatkala Tuhanmu memaklumkan : "Sesungguhnya jika kamu bersyukur, niscaya Aku akan menambahkan (nimat) kepadamu, tetapi jika kamu mengingkari (nikmat-Ku), maka sesungguhnya azab-Ku sangat pedih".

(Qs. Ibrahim :7)

Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan,

(QS. Al-Insyirah : 5)

Dulcius ex asperis (manis setelah kesulitan)

"Batu yang keras jika ditetesi air hujan di titik yang sama lama kelamaan juga akan pecah, begitu juga Ilmu semakin kita berusaha tidak ada yang tidak mungkin untuk kita dapatkan"

"Melaju tak terbatas dan melampauinya"

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmaanirrahiim,

Assalamu'alaikum warahmatullahi wa barakatuh.

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas berkat dan rahmat yang luar biasa memberikan kesehatan, kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “Desain Sambungan Batang Mesin *3D Printing* Tipe Delta” dapat terselesaikan dalam waktu yang ditentukan. Adapun Laporan Tugas akhir merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi sebagai kelulusan strata (S1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. Dalam proses Laporan Tugas Akhir ini tentunya tidak lepas dari peranan dan bantuan beberapa pihak. Adapun kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak, Ibu serta kakak dan adik serta keluarga yang selalu memberikan semangat dan memanjatkan doa untuk saya selama kegiatan Tugas Akhir berlangsung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo M.T. selaku dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Ketua Program Studi Teknik Mesin UII, Bapak Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng.
4. Dosen pembimbing Tugas Akhir Bapak Muhammad Ridlwan, S.T., M.T yang telah memberikan banyak saran serta masukan selama penyelesaian laporan ini.
5. Seluruh dosen dan staff karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
6. Pak Ryan Widi yang berada di Semarang yang sudah mengizinkan observasi dan pengembangan *3D Printing* Kossel K800
7. Rekan tugas akhir di Laboratorium Sistem manufaktur yang telah menemani dan membantu dalam pembuatan laporan Tugas akhir ini.
8. Rekan yang selalu ada dalam susah dan senang tugas akhir ini opang, aris, madan, siddiq dan dita

9. Jaringan grup jepang yang menjadi tempat bernaung, bergaul dan menjadi partner dalam bidang akedemik.
10. Dan semua pihak yang telah mendukung penyusunan yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini sesuai dengan yang diharapkan serta bermanfaat bagi kampus dan teknik mesin pada umumnya. Namun penulis sadar bahwa masih banyak terdapat kekurangan dan ketidaksempurnaan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mohon maaf dan berharap adanya kritik serta saran dari semua pihak yang dapat membangun demi terciptanya laporan tugas akhir yang lebih baik.

Wassalamu 'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Yogyakarta, 20 November 2018

Penulis,

Marroli Meilanov

NIM. 14525002

ABSTRAK

DESAIN SAMBUNGAN BATANG MESIN 3D PRINTING TIPE DELTA

Dewasa ini teknologi 3D Printing banyak digunakan dalam pembentukan rapid prototype, dengan waktu dan biaya relatif murah dalam membuat suatu produk, teknologi ini banyak digunakan dalam dunia manufakturing untuk proses fused deposition models. Dalam perkembangannya mesin 3D Printing memiliki beberapa jenis printer, salah satunya mesin 3D Printing tipe delta, dengan menggunakan tiga tiang membentuk segitiga vertikal, pada umumnya menggunakan mekanisme lengan dari diagonal push rod. kemudian pada bagian atas dan bawah terdapat plate sebagai komponen utama. Mesin delta bergerak menggunakan motor stepper pada setiap tiang dan dihubungkan menggunakan pulley untuk bergerak vertikal. Dengan menggunakan based magnetic effector dan magnetic carriages alat ini menggunakan bantalan magnet sebagai penghubung lengan. Dalam penelitian ini, dilakukan perbaikan sambungan batang antara carriage dan platform heater dengan mengubah konsep ball joint menjadi couple joint vertikal. Konsep ini diharapkan menjadi dasar dari pembebanan sederhana menggunakan couple joint, pembuatan sambungan batang 3D Printing menggunakan bahan akrilik, PLA dan bearing sebagai komponen utama couple joint agar meminimalisir gaya gesekan. Berdasarkan hasil pengujian dari perancangan yang dilakukan bahwa perbaikan sambungan batang pada 3D Printing tipe delta dapat mengurangi kegagalan alat.

Kata kunci : 3D Printing, fused deposition models, carriages, PLA

ABSTRACT

DESIGN CONNECTION 3D MACHINES PRINTING OF DELTA TYPE

Today, 3D Printing technology is widely used in the formation of rapid prototypes, with relatively inexpensive time and cost in making a product, this technology is widely used in manufacturing for fused deposition models. In its development, 3D Printing machines have several types of printers, one of which is the delta type 3D Printing machine, using three pillars forming a vertical triangle, generally using the arm mechanism of the diagonal push rod. Then at the top and bottom there is a plate as the main component. The delta machine moves using a stepper motor on each pole and is connected using pulleys to move vertically. By using a magnetic based effector and magnetic carriages, this tool uses magnetic bearings as an arm connector. In this study, rod joint repair was carried out between the carriage and the heater platform by changing the ball joint concept into a vertical couple joint. This concept is expected to be the basis of simple loading using a couple joint, the making of 3D Printing connections using acrylic material, PLA and bearings as the main components of the couple joint so that order to minimize friction force. Based on the results of the testing of the design carried out that the repair of rod joints in the 3D type delta can reduce tool failure.

Keywords: *3D Printing, fused deposition models, carriages, PLA*

Approved by:

Anggata Jatu Kusumawati, SS, MA

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iv
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar.....	vii
Abstrak	ix
Daftar Isi	xi
Daftar Tabel.....	xiii
Daftar Gambar	xiv
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	3
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	4
2.2.1 Mesin <i>3D Printing</i> tipe <i>Delta</i>	4
2.2.2 Geometri Delta	6
2.2.3 Koordinat Cartesian.....	7
2.2.4 Repetier Host	9
2.2.5 Bearing	11
Bab 3 Metode Penelitian.....	13
3.1 Alur Penelitian	13
3.2 Konsep Desain	13
3.3 Peralatan dan Bahan.....	14
3.4 Observasi	14

3.5	Proses Desain	14
3.6	Desain <i>Part</i>	15
3.6.1	Desain Sambungan Batang Versi 1	15
3.6.2	Desain Sambungan Batang Versi 2	16
3.6.3	Desain Sambungan Batang Versi 3	16
3.7	Perancangan Model Sambungan Batang	17
3.7.1	Proses Pembuatan <i>Part</i>	17
3.8	Percobaan Alat	20
Bab 4 Hasil dan Pembahasan		21
4.1	Hasil Perancangan.....	21
4.1.1	Perancangan Tahap Pertama.....	22
4.1.2	Perancangan Tahap kedua	23
4.1.3	Perancangan Tahap ketiga.....	25
4.2	Hasil Pembuatan	26
4.2.1	Carriage	26
4.2.2	Sambungan Batang.....	29
4.2.3	Effector	32
4.3	Proses Pengujian	33
4.4	Analisis dan Pembahasan.....	36
Bab 5 Penutup.....		40
5.1	Kesimpulan	40
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	40
Daftar Pustaka		41

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 <i>Mechanical Properties Bearing Flanged F693ZZ</i>	12
Tabel 3-1 Parameter Permesinan.....	17
Tabel 4-1 Spesifikasi Model <i>Carriage</i>	27
Tabel 4-2 Spesifikasi Sambungan Batang	30
Tabel 4-3 Spesifikasi Komponen <i>Effector</i>	33
Tabel 4-4 Total <i>cost</i> pembuatan sambungan batang	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Sambungan Batang karbon dan Braket.....	1
Gambar 2.1 <i>Anatomy of a delta printer</i>	5
Gambar 2.2 <i>Delta Geometry</i>	6
Gambar 2.3 Sudut Delta posisi atas.....	7
Gambar 2.4 Koordinat Bola tiga dimensi (x, y, z)	8
Gambar 2.5 Koordinat Cartesian (r, Alpha, beta).....	8
Gambar 2.6 Printer Setting <i>Connection</i>	9
Gambar 2.7 <i>Printer Shape</i>	10
Gambar 2.8 <i>Rostock Printer Setting</i>	10
Gambar 2.9 Kalibrasi Printer	11
Gambar 2.10 <i>Metric Miniature Flanged Bearings</i>	11
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> penelitian.....	13
Gambar 3.2 Sambungan lengan.....	15
Gambar 3.3 Sambungan Batang Versi 1	15
Gambar 3.4 Sambungan Batang Versi 2	16
Gambar 3.5 Desain Sambungan Batang Versi 3	16
Gambar 4.1 Hasil Perancangan Model Sambungan Batang.....	21
Gambar 4.2 Dimensi 3D Printer Delta	22
Gambar 4.3 Perancangan Desain Tahap Pertama.....	23
Gambar 4.4 Perancangan Desain Tahap Kedua	24
Gambar 4.5 Desain Bearing F6933zz.....	24
Gambar 4.6 Perancangan Desain Tahap Ketiga	25
Gambar 4.7 Desain Perancangan Model Ketiga.....	26
Gambar 4.8 Model Carriage	27
Gambar 4.9 Bantalan Penghubung <i>Carriage</i> dengan roda.....	28
Gambar 4.10 Pemasangan Carriage dengan roda.....	28
Gambar 4.11 Sambungan Batang	29
Gambar 4.12 Engsel Penghubung	31
Gambar 4.13 Bearing F6933zz.....	31
Gambar 4.14 Komponen <i>Effector</i>	32

Gambar 4.15 Proses Kalibrasi	34
Gambar 4.16 Firmware EEPROM setting.....	34
Gambar 4.17 Proses Pencetakan Kering.....	35
Gambar 4.18 Hasil Pencetakan.....	35
Gambar 4.19 Proses Pencetakan Kedua	36
Gambar 4.20 Hasil Pencetakan Kedua	36
Gambar 4.21 Model Sambungan Batang.....	37
Gambar 4.22 Kegagalan <i>Diagonal Push Rod</i>	37

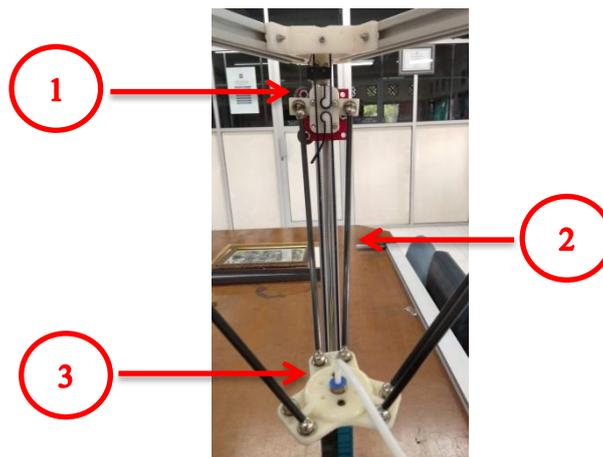
BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ada beberapa tipe mesin *3D Printing* yang digunakan, salah satu dari bentuk mesin *3D Printing* yaitu tipe *delta*. Printer yang terdiri dari *tower*, *top plate* dan *bottom plate* sebagai komponen utama yang digerakan oleh motor, kemudian dihubungkan melalui *idler pulley*, sehingga mampu mengerakkan 3 lengan yang disambungkan pada *carrier*. Dengan bentuk segitiga untuk menopang *platform* setiap lengan yang saling bergerak *x*, *y* dan *z* untuk menentukan titik dengan mengubah sudut antara lengan. (Grutle, etc. 2015)

Mesin *3D Printing* tipe *delta* pada umumnya menggunakan mekanisme lengan dari *diagonal push rod*. Konfigurasi segitiga vertikal tower dengan 6 lengan *diagonal push rod* terbuat dari karbon yang menghubungkan *magnetic carriages* dengan *effector*. Dengan spesifikasi *based magnetic effector* dan *magnetic carriages* alat ini menggunakan bantalan magnet sebagai penghubung lengan.



Gambar 1.1 Sambungan Batang karbon dan Braket

Sambungan batang Karbon terdapat tiga komponen utama yang menjadi fokus perancangan. Poin pertama merupakan *Carriage* dengan material PLA dengan bantalan *joint* merupakan magnet, sehingga mampu menahan *mounting* sambungan batang karbon. Poin kedua merupakan sambungan batang karbon yang memiliki panjang 200 mm dengan *ball joint* pada tiap ujung *mounting*

terbuat dari bahan *Stainless steel*. Poin ketiga menunjukkan *effector* dari bahan PLA dengan bantalan *mounting* berbahan magnet.

Mesin *3D Printing kossel K800* yang menggunakan lengan *diagonal push rod* terdiri dari material *import*, sehingga tergolong mahal untuk biaya *maintenance*. Faktor magnet dan juga perlunya kalibrasi ulang terhadap lengan tersebut, menjadi faktor sering terjadinya kegagalan dalam proses membentuk sebuah model. Kegagalan tersebut terjadi apabila pergerakan sudut yang dibentuk lebih besar dari panjang lengan, material *platform* dari *based magnetic effector* seperti tidak kuat menahan beban dan gerak, menyebabkan hasil pembentukan model rusak akibat *platform* terlepas dari lengan. Sehingga lengan batang ini belum cukup kuat menahan beban ketika alat tersebut digunakan.

Perbaikan lengan batang dianggap perlu untuk mendapatkan rancangan lengan yang memiliki biaya *maintenance* lebih murah dengan material yang mudah didapatkan serta lebih kuat dan ringan, sehingga kegagalan proses pembentukan model dapat dikurangi. Melihat dari latar belakang, perlu dilakukan penelitian untuk merancang lengan dengan spesifikasi tersebut untuk perbaikan dari alat sebelumnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, dapat dirumuskan beberapa permasalahan, antara lain :

1. Bagaimana merancang sambungan batang pada mesin *3D Printing* tipe Delta.
2. Bagaimana mekanisme sambungan batang pada mesin *3D Printing* tipe Delta menggunakan bahan yang ringan, serta mempunyai *lifetime* yang panjang.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perancangan difokuskan tentang modifikasi sambungan batang mesin *3D Printing* tipe Delta yang ada pada Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
2. Perancangan tersebut hanya realisasi desain hingga prototipe tanpa analisis.

3. Pembuatan model menggunakan mesin *3D Printing* B01 dan Mesin *Laser Cutting*.
4. Tidak membahas program dan *firmware* pada *3D Printing* tipe Delta.
5. Perancangan sambungan batang menggunakan *software* solidwork 2016.
6. Tidak membahas mengenai *electrical*

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Tujuan dari penelitian ini adalah dapat merancang dan membuat model prototipe sambungan batang pada mesin *3D Printing* tipe Delta yang cukup kuat sebagai pengganti sambungan magnet dengan menggunakan material yang lebih ringan dan mekanisme yang lebih fleksibel.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat dari penelitian ini adalah meningkatkan tingkat keberhasilan *3D Printing* Tipe Delta dalam mencetak suatu produk dan mengurangi kegagalan alat yang disebabkan sambungan batang *ball joint* magnet yang mudah jatuh saat digunakan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini disusun secara berurutan untuk mempermudah dalam pembahasan. Penulisan tugas akhir ini dijelaskan sebagai berikut.

1. Bab 1 Pendahuluan berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan.
2. Bab 2 Tinjauan berisi tentang kajian pustaka dan menjelaskan dasar teori yang digunakan dalam perancangan yang dilakukan.
3. Bab 3 Metodologi berisi tentang langkah-langkah yang dilakukan dalam perancangan dan metode pembuatan lengan *3D Printing*.
4. Bab 4 Hasil dan Pembahasan berisi tentang bagaimana perancangan yang dilakukan, serta hasil yang didapat berdasarkan perancangan tersebut.
5. Bab 5 Penutup berisi tentang kesimpulan dari pembahasan yang dilakukan serta saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

3D Printing tipe delta merupakan printer 3D dengan tiga tiang vertikal membentuk segitiga, dengan motor stepper sebagai penggerak yang dihubungkan melalui *pulley*. print head dari pinter ini menggantung pada lengan batang yang disambungkan pada tiap tiang, mekanisme gerak lengan dan penentuan posisi *print head* diatur menggunakan software dan fungsi trigonometri.

(Charless Bell Xy, t.t., hlm. 39) dalam bukunya menjelaskan bahwa, Cartesian dan delta menggunakan perangkat keras yang sama. Perbedaannya terdapat pada bagaimana sumbu disusun, *build plate* yang berbentuk bundar dan *delta arms* berupa bingkai dengan bentuk segitiga. Pada bukunya dijelaskan bahwa, tidak semua printer delta memiliki bentuk seperti itu, dan desain awal berbentuk persegi panjang. tetapi semua desain printer delta memiliki susunan sumbu yang sama, sehingga memungkinkan printer itu memiliki gerak yang bervariasi tergantung objek yang dibuat.

Printer ini memposisikan *effector* menggunakan data dari *firmware*. Dalam hal ini persamaan trigonometri difungsikan untuk mempermudah mengingat sumbu dan lengan delta. Dengan ini dapat memindahkan posisi *effektor* dari sisi satu kesisi yang lainnya. Sisi miring selalu sama panjang lengan delta, dalam menghitung gerakan printer delta menggunakan rumus untuk menghitung sisi-sisi segitiga siku-siku menggunakan jumlah kuadrat.

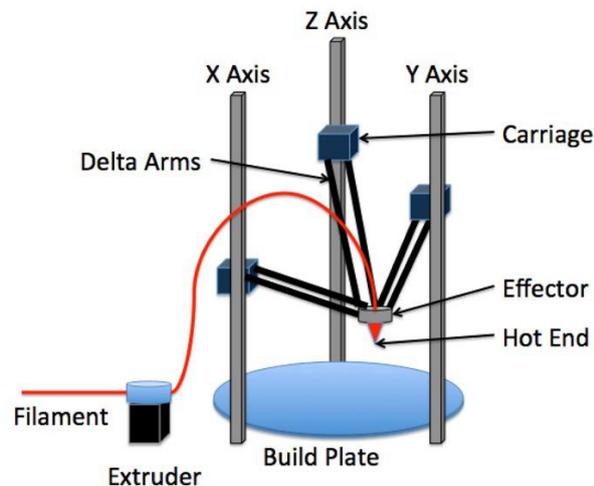
2.2 Dasar Teori

2.2.1 Mesin *3D Printing* tipe *Delta*

Robot Delta ditemukan pada awal 1980-an untuk memanipulasi benda-benda kecil dan ringan dan cukup serbaguna. Printer gaya Delta menggunakan pendekatan yang sangat berbeda untuk menggerakkan *effector* sesuai titik koordinat yang ditentukan. Ada tiga tiang dengan rel vertikal panjang, masing-masing

terdapat lengan yang terhubung ke *effector*. Lengan-lengan ini bergerak ke atas dan ke bawah secara *independen* melalui *carriage* yang menghubungkan *effector* dan menjaganya agar tetap terletak di seluruh cetakan. Printer Delta memiliki keuntungan dalam kemampuan untuk membuat objek lebih tinggi karena ketinggian printer dan lengan yang tinggi.

Printer ini disebut printer Delta Robot, karena alat ini merupakan jenis Delta robot yang memiliki tiga derajat kebebasan, dengan pergerakan dari sumbu xyz. Kemudian *platform* ditengah mengontrol rotasi dalam melakukan pergerakan atau rotasi tunggal sekitar sumbu tegak lurus dari *effector*. Sehingga Delta robot menjadi satu rangkaian seperti cakar dengan *effector* tempat proses *extruder* FDM dan print-nozzle. (Robert L. Williams, 2016)



Gambar 2.1 Anatomy of a delta printer

Sumber : (Charles bell)

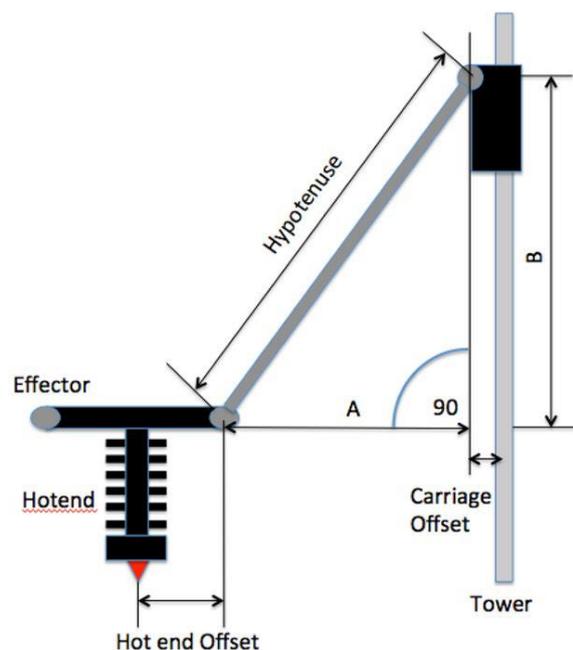
Gambar diatas merupakan komponen utama dari mesin 3d prinitng tipe delta dengan fungsinya sebagai berikut:

- **Extruder:** juga disebut *cold end*, fungsinya mengantarkan filamen menuju *nozzle heater*
- **Build plate:** bed atau bidang kerja proses printer. Beberapa mesin 3d menggunakan bed dengan pemanas
- **Sumbu:** disusun secara vertikal dan label berlawanan arah jarum jam sebagai X, Y dan Z.

- **Carriage**: sebagai pendorong lengan dengan gerak keatas kebawah secara vertikal bergerak melalui *pulley*.
- **Effektor**: terhubung dengan lengan yang bergerak melalui derajat kebebasan XYZ dan tempat *nozzle heater*
- **Lengan Delta**: tiga lengan yang terhubung pada *carriage* dan *effector* yang bergerak sesuai derjat kebebasan XYZ.
- **Hot end**: pemanas khusus yang memanaskan *nozzle* untuk mencair (glassing) filamen untuk ekstrusi.

2.2.2 Geometri Delta

Ketika sumbu bergerak naik turun maka *carriage* juga vertikal mengikuti pergerakan sumbu. kombinasi dari lengan delta, *efektor* dan sumbu gerakan membentuk segitiga siku, seperti yang ditunjukkan di gambar 2-2. Bahwa lengan delta membentuk sisi miring segitiga siku, dibentuk oleh sumbu vertikal, dan garis imajiner ditarik dari poros ke *effektor*.

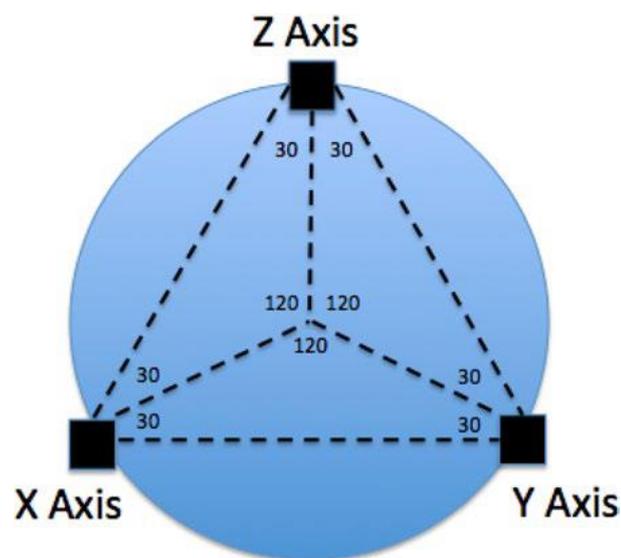


Gambar 2.2 Delta Geometry

Terdapat dua *offset* dalam menentukan sisi siku dari pergerakan lengan ke titik sumbu. Jarak dari pusat gerakan sumbu ke titik sambungan lengan pada *carriage*, jarak pendek yang diukur dari titik sambungan lengan pada *effector* ke

nozzle. Sehingga dalam menentukan perhitungan pada lengan harus mempertimbangkan faktor *offset* saat memposisikan *effector*.

Dalam menentukan derajat kebebasan *3D Printing* delta menggunakan perangkat firmware. firmware menggunakan persamaan trigonometri untuk mengingat sumbu, lengan delta, dan effector membentuk segitiga siku-siku. Sisi miring selalu sama dengan lengan delta, sehingga untuk menghitung pergerakan menggunakan rumus untuk menghitung sisi-sisi segitiga siku-siku dengan menggunakan jumlah kuadrat. Sudut yang dibutuhkan dalam menentukan posisi menara ditunjukkan pada Gambar 2.3 Sudut Delta berikut ini.



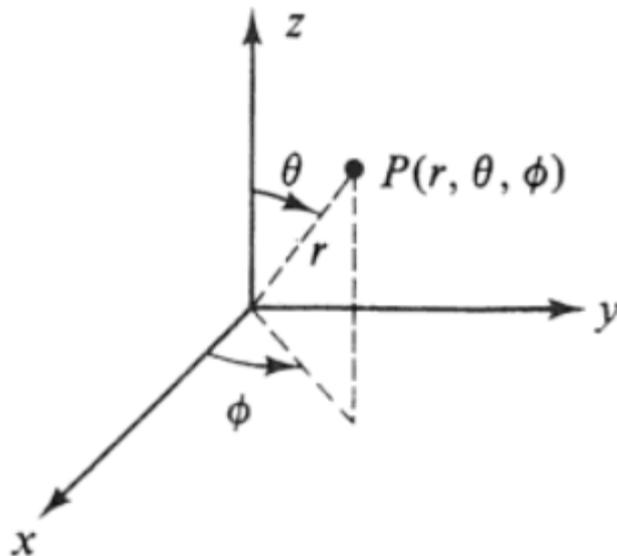
Gambar 2.3 Sudut Delta posisi atas

Tiap sisi memiliki derajat yang sama hingga membentuk segitiga siku-siku. Untuk menghitung pergerakan sumbu terdapat fungsi sinus dan cosinus yang dihitung melalui firmware, sehingga derajat kebebasan x, y, z dapat ditentukan posisi koordinatnya. (Marlin, 2018)

2.2.3 Koordinat Cartesien

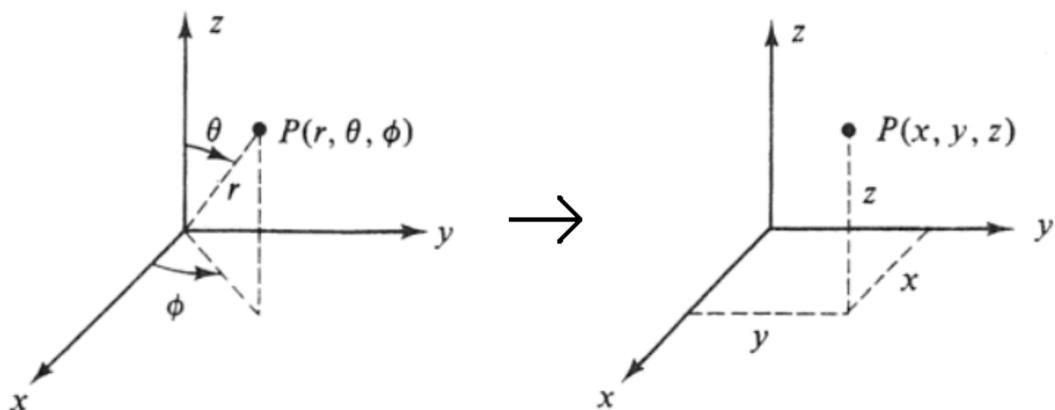
Untuk menentukan posisi sebuah benda didalam suatu ruang, dibutuhkan sebuah sistem titik koordinat yang memiliki titik pusat dan sumbu koordinat (axis). Pada titik koordinat sumbu dan *origin* dari sebuah cartesien 3 dimensi dibagi menjadi 3 derajat kebebasan, dengan sebuah pusat dan memiliki sumbu x, y dan z . Untuk *3D Printing* tipe delta digambarkan titik *carriage* yang dibentangkan melalui garis dari titik *origin*, dapat dinyatakan dalam x, y dan z

dan OP adalah jarak titik P ke pusat O. Pada gambar 2.4 dapat kita lihat koordinat tiga dimensi untuk penentuan prinsip delta



Gambar 2.4 Koordinat Bola tiga dimensi (x, y, z)

Hubungan koordinat x, y dan z dapat diubah menjadi prinsip tiga dimensi delta (r, θ, ϕ). Panjang lengan yaitu r dan dua koordinat lainnya berdimensi sudut yaitu alpa dan beta. Jarak titik P ke pusat O sama dengan r. Jika titik P di proyeksikan ke titik xy, maka sudut antara garis OP dengan titik xy adalah beta. Sehingga bidang mendatar tegak lurus terhadap *origin* pada bidang xy di tuliskan dengan huruf x disebut alpha. (Willmann-Bell & Virginia, 1991). Pada gambar 2.5 dapat ditentukan koordinat Cartesian.



Gambar 2.5 Koordinat Cartesian (r, Alpha, beta)

Sumber : ("Spherical to Cartesian Coordinates Calculator," t.t.)

Hubungan antara xyz dengan (r, θ, ϕ). Dinyatakan dalam transformasi koordinat berikut. Menggunakan rumus dapat ditentukan panjang dan ketinggian

dari stuktur lengan *3D Printing*, dengan memperhatikan dimensi alas atau luasan x yang dibutuhkan dalam menentukan panjang lengan.

$$x = r \sin(\theta) \cos(\varphi)$$

$$y = r \sin(\theta) \sin(\varphi)$$

$$z = r \cos(\theta)$$

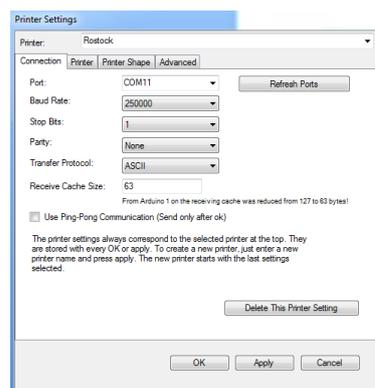
2.2.4 Repetier Host

Untuk dapat menjalankan alat *3D Printing* tipe delta, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menginstal *software Repetier-Host* sebagai perangkat lunak untuk mengoperasikan mesin *3D Printing*. *Repetier-Host* merupakan *Host software* yang dapat mempermudah proses pemodelan atau proses *slicing*.

Proses selanjutnya memastikan settingan pada *software* cocok dengan computer yang digunakan. Oleh karena itu dilakukan proses penyesuaian tab koneksi, proses ini penyesuaian *port* mesin 3D dengan *port* yang digunakan dalam komputer. Ada beberapa komputer tidak terdeteksi *port* usb atau yang tidak mengenali perangkat keras Arduino Mega, maka perangkat komputer harus diinstall driver tambahan. (*Rostock 3D Printer - BI Edition 1.0, 2013*)

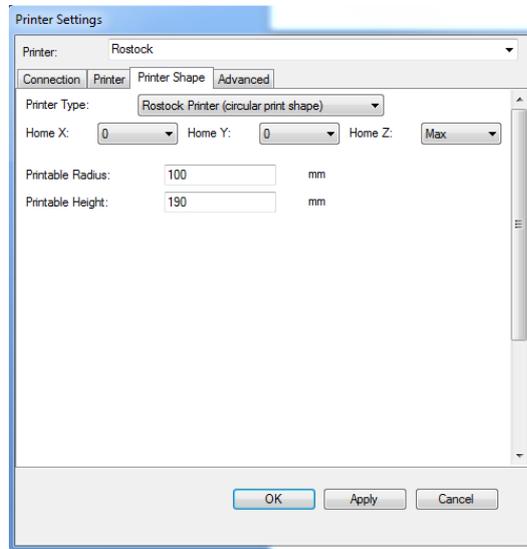
Agar dapat memastikan alat tersambung dengan *software* dan memastikan settingan printer sesuai dengan mesin *3D Printing*, langkah-langkah yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan *Port* dan *Baud Rate* dengan menyesuaikan jaringan komputer yang digunakan dengan *software*. Pada gambar 2.6 dapat kita lihat proses penyesuaian *connection*.



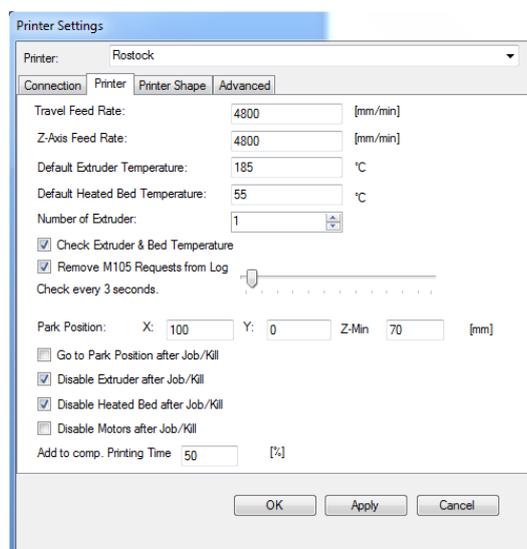
Gambar 2.6 Printer Setting Connection

- Menentukan jenis mesin 3D printing yang digunakan dan menentukan luas bidang kerja pada tab *Printer Shape*, agar radius dan tinggi dapat disesuaikan dengan mesin *3D Printing*. Pada gambar 2.7 dapat kita lihat penentuan *Printer Shape*.



Gambar 2.7 Printer Shape

- Menentukan *feed rate* hingga settingan komponen pada *head unit*. Proses ini dilakukan agar dapat menentukan pergerakan axis Z hingga penentuan Temperatur *extruder*. Pada gambar 2.8 dapat dilihat beberapa parameter settingan printer.



Gambar 2.8 Rostock Printer Setting

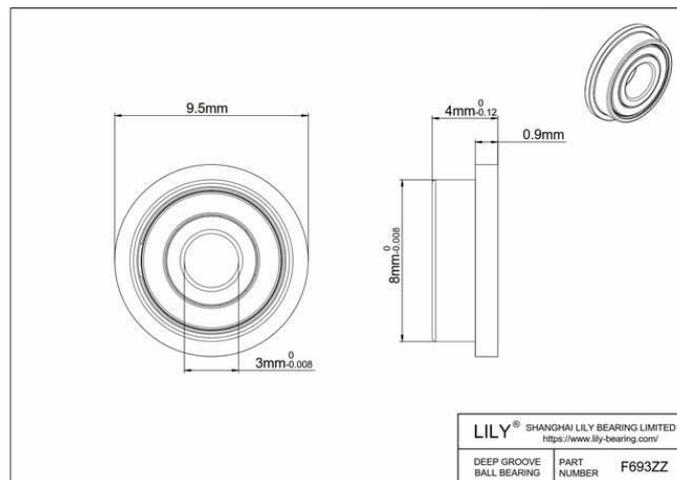
4. Menentukan fungsional perangkat keras yang ada pada mesin *3D Printing* sehingga dapat dilakukan kalibrasi titik koordinat dan derajat kebebasan xyz. Pada gambar 2.9 dapat dilihat settingan *firmware EEPROM*.

Firmware EEPROM Settings	
Diagonal rod length	217.000 mm
Horizontal rod radius at 0,0	98.500 mm
Max printable radius	85.000 mm
Tower X endstop offset	1 steps
Tower Y endstop offset	0 steps
Tower Z endstop offset	1 steps
Alpha A(210):	210.000
Alpha B(330):	330.000
Alpha C(90):	90.000
Delta Radius A(0):	0.000
Delta Radius B(0):	0.000
Delta Radius C(0):	0.000
Corr. diagonal A	0.000 mm
Corr. diagonal B	0.000 mm
Corr. diagonal C	0.000 mm
Coating thickness	0.000 mm
Z-probe height	19.950 mm
Max. z-probe - bed dist.	5.000 mm
Z-probe speed	2000 mm/s
Z-probe x-y-speed	50.000 mm/s
Z-probe offset x	0.000 mm
Z-probe offset y	0.000 mm

Export EEPROM Data Import EEPROM Data OK

Gambar 2.9 Kalibrasi Printer
Sumber : (SoliForum, 2014)

2.2.5 Bearing



Gambar 2.10 Metric Miniature Flanged Bearings

Sumber : www.lily-bearing.com

Bearing merupakan alat yang berfungsi meminimalisir gaya gesek yang terjadi antara dua bagian alat atau mesin, yang bergerak saling berhubungan secara melingkar atau linear. Ada begitu banyak jenis *bearing*, salah satunya

miniature flanged bearing, mini bearing dengan bantalan penahan bentuk *flange* pada sisi luar *outter*. Bearing bantalan bola dengan type *flanged* F693zz banyak digunakan pada robot, mesin cnc mini hingga mesin *3D Printing cartesian* dan *delta*. (“Lily Bearing,” 2015)

miniature flanged bearing dengan Kode F693zz terdiri dari beberapa bahan material, dimensi dan toleransi. Pada Tabel 2-1 akan dijelaskan *properties* dari bearing F693zz.

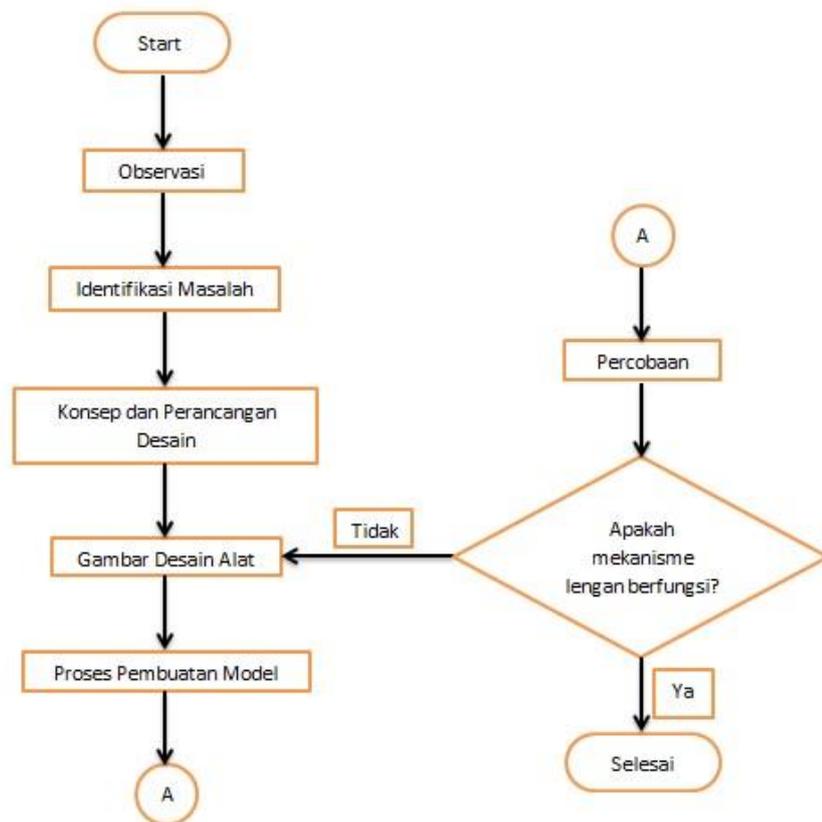
Tabel 2-1 Mechanical Properties Bearing Flanged F693ZZ

<i>Properties</i>	<i>Value / Units</i>
Diameter <i>inner</i>	3 mm
Diamater <i>outter</i>	8 mm
Toleransi	-0,008 mm hingga 0
Lebar	4 mm
Toleransi Lebar	-0.12mm sampai 0
Bahan Cincin dan Bola	52100 baja Chrome
Berat	0.94 gram
Material Perisai	300 Series Stainless Steel

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Penelitian Tugas akhir ini memiliki beberapa tahapan yang dilakukan oleh peneliti sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3-1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Flowchart penelitian

3.2 Konsep Desain

Konsep desain yang digunakan dalam penelitian ini

1. Kuat
2. Ringan
3. Murah

3.3 Peralatan dan Bahan

Dalam penelitian ini ada beberapa peralatan yang digunakan :

1. Mesin *3D Printing* B01
2. Mesin *Lasser cutting*
3. PLA 1.75 mm
4. *Micro sd*
5. *Acrylic sheet* 3 mm dan 5 mm
6. *Bearing* F693ZZ 3x8x4mm
7. Baut m3x15mm *round head*
8. Mur M3

3.4 Observasi

Dalam melakukan perancangan lengan batang dibutuhkan data permasalahan serta referensi desain yang akan diangkat menjadi gambaran awal sebuah desain, langkah awal melakukan pengukuran dimensi panjang, lebar dan tinggi *part* sambungan batang *3D Printing* tipe delta dengan menggunakan mistar. Setelah pengukuran dimensi selesai, dilakukan observasi terkait desain dan komponen pengganti sambungan batang.

3.5 Proses Desain

Dalam melakukan dan menentukan bentuk desain yang akan dibuat, aspek kriteria menjadi hal penting dalam menentukan desain. Referensi desain digunakan agar dapat menentukan jenis material hingga proses pembuatan dari sambungan batang mesin *3D Printing* tipe delta. Berdasarkan referensi sambungan batang yang didapatkan, sambungan batang terdiri dari dua komponen yaitu *U joint* dari bahan akrilik kemudian *effector* dan *carriage* dari bahan PLA. Untuk menyesuaikan dengan alat yang akan dirancang, maka dari referensi desain diperlukan penggantian komponen yang menghubungkan sambungan batang. Pada gambar 3.2 dapat dilihat komponen yang menjadi referensi pembentukan model sambungan batang.



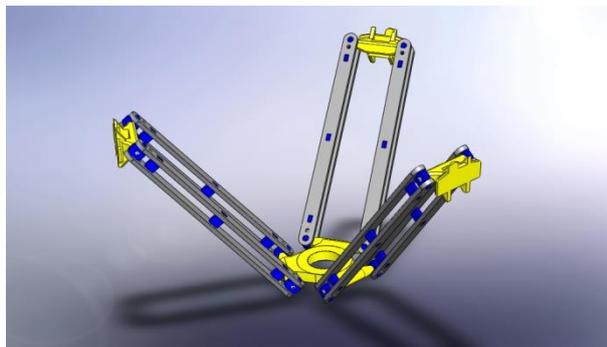
Gambar 3.2 Sambungan lengan

3.6 Desain Part

Proses desain *part* sambungan batang terdapat 3 perubahan desain yang dilakukan. Perubahan-perubahan tersebut disebabkan desain yang harus menyesuaikan kriteria desain sambungan batang.

3.6.1 Desain Sambungan Batang Versi 1

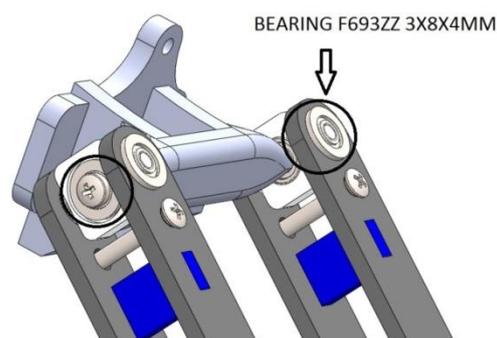
Desain pertama untuk rancang bangun sambungan batang ini merupakan rancangan dengan dua batang sambungan ditiap masing sambungan, yang terdiri dari empat batang lengan, dengan total 12 lengan yang dibutuhkan. Tiap lengan dihubungkan dengan engsel sehingga membentuk U joint, diharapkan mampu mengganti peran *rod diagonal carbon* sambungan magnet. Mekanisme nya dengan mengganti *part* utama pada lengan batang seperti *Aluminium Magnetic*, *Carriage* dan *Effector*. Pada gambar 3.3 merupakan desain pertama sambungan batang.



Gambar 3.3 Sambungan Batang Versi 1

3.6.2 Desain Sambungan Batang Versi 2

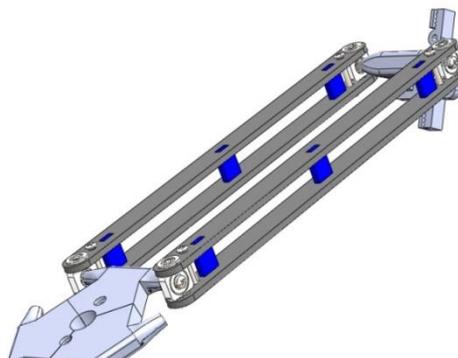
Desain Kedua ini merupakan modifikasi bentuk tumpuan engsel penghubung lengan pada *carriage* dan *effector* mesin *3D Printing* tipe delta. Untuk meningkatkan daya tahan alat, mekanisme engselnya harus memiliki kriteria material yang tahan lama, maka dari itu desain kedua menggunakan *bearing*. Pada gambar 3.4 menunjukkan desain kedua sambungan batang. Desain tersebut terdapat beberapa perubahan pada komponen engsel sambungan batang.



Gambar 3.4 Sambungan Batang Versi 2

3.6.3 Desain Sambungan Batang Versi 3

Desain ketiga terdapat perubahan desain pada *part carriage* dibentuk agar menyesuaikan kondisi alat, salah satunya dengan tetap mempertahankan penjepit *belt* yang menghubungkan *carriage* dengan motor *stepper*, desain persegi diharapkan menjadi penghubung *switch end stop* pada alat. Pada gambar 3.5 dibawah ini merupakan desain ketiga sambungan batang. Desain tersebut merupakan modifikasi dari *part carriage*.



Gambar 3.5 Desain Sambungan Batang Versi 3

3.7 Perancangan Model Sambungan Batang

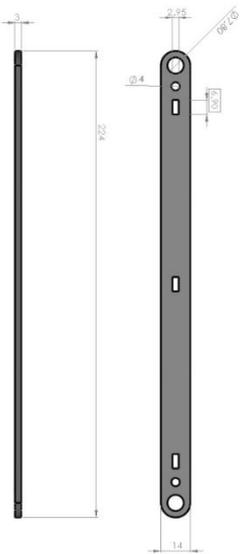
Setelah proses desain selesai serta alat dan bahan terkumpul, langkah selanjutnya melakukan proses pembuatan model hingga menjadi satu rangkaian sambungan batang delta, yang terbagi menjadi beberapa bagian.

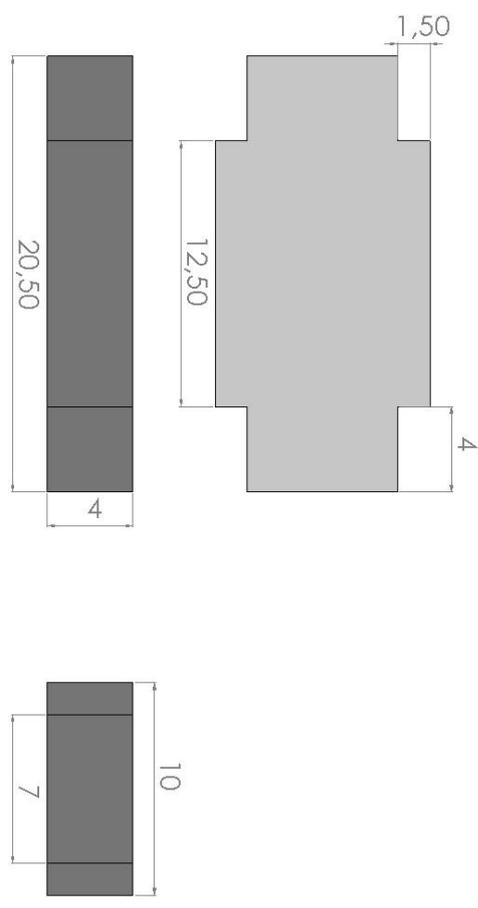
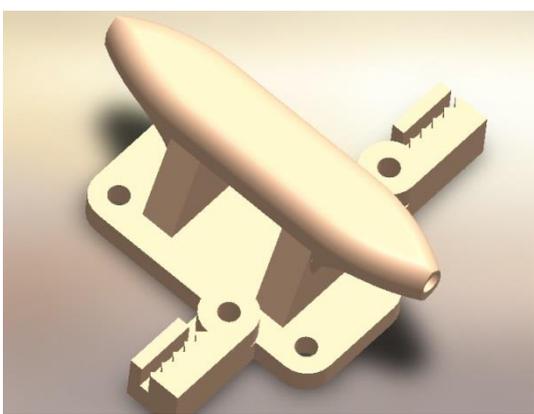
1. Proses Pembuatan
2. *Finishing* pada model
3. Proses Assembly

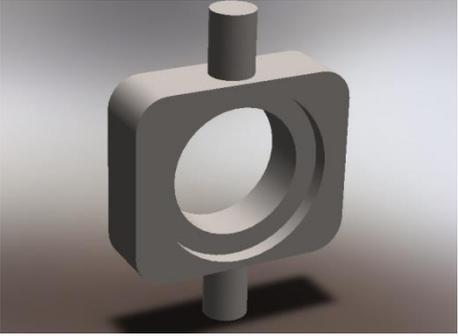
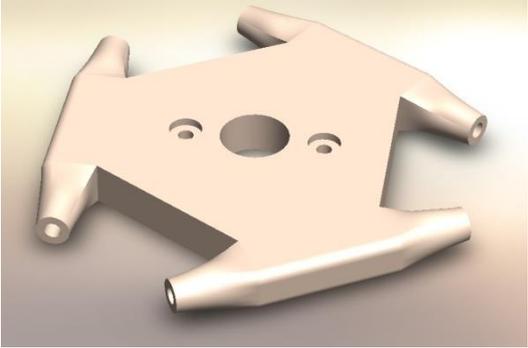
3.7.1 Proses Pembuatan *Part*

Untuk membuat model sambungan batang terbagi menjadi dua bagian proses pemesinan dan alat yang berbeda. Lengan delta dan pengunci lengan dibentuk menggunakan bahan akrilik dan melalui proses *laser cutting*, akrilik dengan ketebalan 3 mm. Sementara untuk *part carriage* dan *effector* dibentuk melalui proses *Fused Deposit Modeling* dengan mesin *3D Printing*. Pada Tabel 3-1 ditampilkan parameter proses permesinan.

Tabel 3-1 Parameter Permesinan

No	Gambar Komponen	Proses Pembentukan
1		<ul style="list-style-type: none"> • Proses pembentukan menggunakan bahan akrilik ketebalan 3 mm proses pemesinan menggunakan mesin <i>Lasser cutting</i>. • Terdapat 12 batang lengan untuk dirakit menjadi enam sambungan batang hingga membentuk delta.

<p>2</p>	<p>Pengunci Lengan</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Proses pembentukan menggunakan bahan akrilik ketebalan 3 mm proses pemesinan menggunakan mesin <i>Lasser cutting</i>. Parameter pemesinan yang digunakan : Power : 35 Speed : 10 • Pengunci lengan dibutuhkan untuk menggabungkan batang dan menjadi lengan utuh • Dalam satu lengan dibutuhkan tiga pengunci lengan • Dibutuhkan 18 pengunci lengan untuk keseluruhan lengan delta
<p>3</p>	<p><i>Carriage</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Carriage</i> dibentuk melalui proses <i>FDM</i> dengan mesin <i>3D Printing B01</i>, material yang digunakan adalah jenis PLA dengan diameter 1.75 mm • Terdapat tiga <i>carriage</i> untuk mengganti pada alat sebelumnya

4	<p><i>Engsel</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Berfungsi untuk menghubungkan sambungan batang dengan <i>Carriage</i> dan <i>Effector</i> • Dibentuk dengan Proses FDM menggunakan mesin <i>3D Printing B01</i>
5	<p><i>Effector</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Effector</i> dibentuk melalui proses FDM dengan mesin <i>3D Printing B01</i>, material yang digunakan adalah jenis PLA dengan diameter 1.75 mm • <i>Effector</i> memiliki lubang untuk engsel sambungan antara <i>effector</i> dengan ujung lengan.

Setelah proses pengerjaan selesai tahap selanjutnya adalah proses pemasangan alat melalui beberapa tahapan yaitu :

1. *Finishing* pada model *carriage* dan *effector*

Proses *finishing* tersebut untuk membersihkan support yang menempel pada model, *support* yang digunakan saat proses pencetakan. Setelah model bersih dari serpihan *support*, dilakukan pengecekan kembali untuk menyesuaikan antara model dengan desain.

2. Pembuatan komponen pendukung

Komponen pendukung pada alat adalah bantalan dari bahan akrilik dengan dimensi 50x50x5 mm, digunakan untuk bantalan *carriage*

3. Proses *Assembly*

Proses *Assembly* dari tiap model menggunakan baut dan mur ukuran 3 mm untuk mengunci titik engsel yang sudah dilengkapi dengan bearing. Untuk lebih membuat struktur lengan rigid, mur dan baut di pasang disetiap ujung dari lengan. Sehingga menjadi satu kesatuan dan siap untuk dipasang pada struktur delta.

3.8 Percobaan Alat

Dalam menentukan keberhasilan alat ini diperlukan uji coba, tahapan yang dilakukan dalam uji coba alat antara lain :

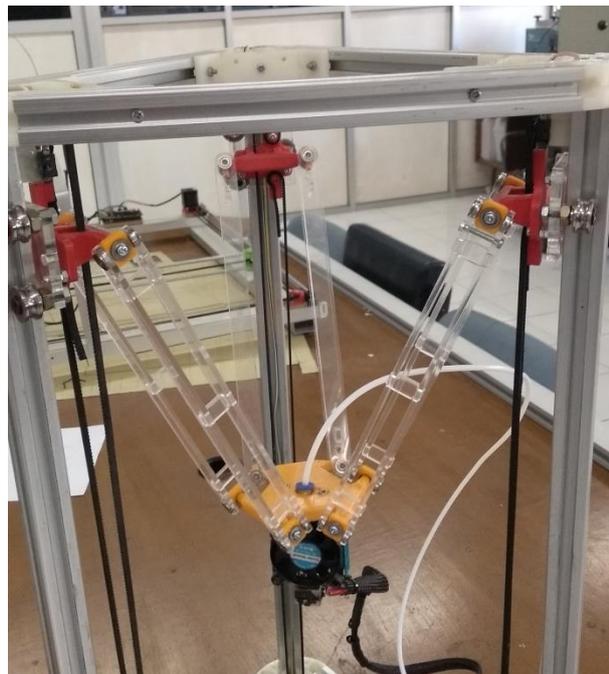
1. Memasang alat yang sudah di *assembly* pada rangkain struktur delta hingga membentuk rangkain 3d printer delta.
2. Memasang perangkat printer seperti *head unit* yang digantungkan pada *effector*.
3. Melakukan kalibrasi dimensi lengan dengan menggunakan aplikasi *Repetier Host*
4. Mengatur ketinggian lengan dengan perintah ”setting printer”, dilakukan pengukuran dengan menggerakkan lengan perintah kontrol dari program Repetier Host, kemudian *input* data dari hasil tinggi lengan terhadap *bottom plate* pada Firmware EEPROM setting.
5. Mengatur kembali lengan pada posisi home dengan menggunakan kontrol.
6. Melakukan Proses pencetakan, dengan *input* sebuah file format STL, kemudian lakukan proses pencetakan sesuai dengan prosedur yang ada pada aplikasi yang mendukung.
7. Uji coba yang sudah dilakukan dengan proses mencetak sebuah file STL sebagai bahan uji coba. Uji coba dilakukan untuk mengetahui pergerakan hingga ketelitian sambungan batang dalam memproses sebuah file untuk dicetak.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan

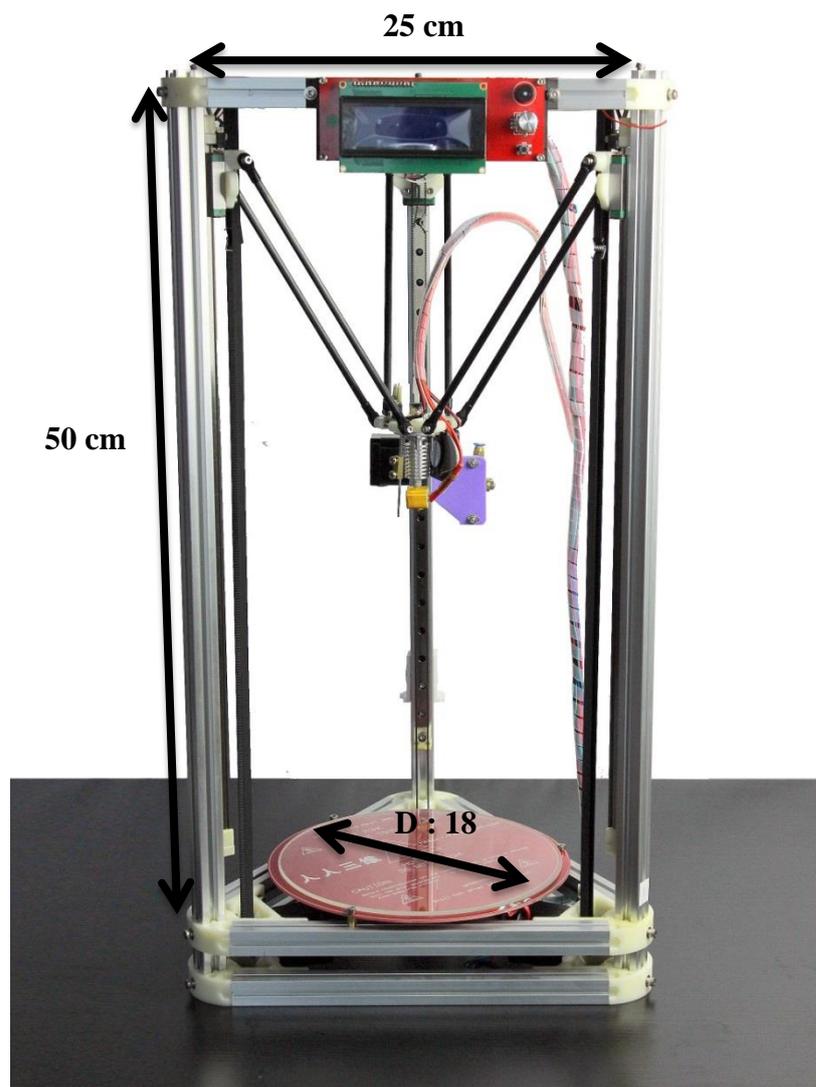
Dalam menentukan hasil sebuah perancangan terdapat beberapa parameter yang dilakukan dalam proses perancangan, tahapan yang dilakukan dalam desain sambungan batang yaitu melakukan observasi dari alat, referensi desain, proses desain hingga proses pembuatan dan perakitan. Dari hasil referensi didapatkan gambaran desain dengan mengubah beberapa *part* utama pada lengan hingga *part* sambungan antar lengan. Beberapa hasil dari perancangan tersebut dapat dijadikan acuan konsep dasar dari kinematika pengangkut beban secara vertikal dengan tumpuan tiga lengan. Perancangan tersebut sudah melalui perbaikan sebelum mendapatkan hasil yang terbaik. Adapun perbaikan – perbaikan desain akan dijelaskan pada poin berikutnya. Pada gambar 4.1 Merupakan model sambungan batang *3D Printing* setelah Pembentukan.



Gambar 4.1 Hasil Perancangan Model Sambungan Batang

4.1.1 Perancangan Tahap Pertama

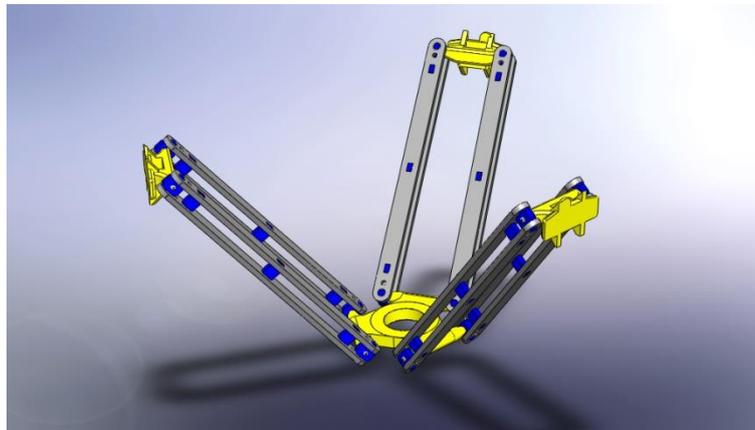
Perancangan alat dilakukan dengan mengukur dimensi struktur delta hingga luas permukaan kerja dari delta. Ukuran ini diambil agar memudahkan penentuan dimensi sambungan batang yang dibuat dan juga menentukan toleransi *offside* dari *mounting* sambungan batang ke *carriage* dan *effector*. Pada Gambar 4.2 menunjukkan dimensi 3D Printer delta adalah 50 cm x 25 cm dan diameter bidang kerja 18 cm. Ukuran tersebut merupakan dasar perancangan sambungan batang.



Gambar 4.2 Dimensi 3D Printer Delta

Konsep yang menjadi dasar perancangan dari sambungan batang adalah kuat, ringan dan murah, tiga konsep tersebut berdasarkan permasalahan pada sambungan batang pada alat sebelumnya. Sambungan batang (Diagonal Rod Carbon) dengan *couple joint* berbentuk bola disambungkan dengan bantalan magnet yang terdapat pada *carriage* dan *effector*, kekuatan magnet lemah saat *feed rate* diatas 70 pada kontrol *Repetier Host*.

Pemilihan material yang ringan diharapkan agar pergerakan sambungan lebih maksimal. Material yang murah diharapkan mampu menggantikan material *rod diagonal carbon* yang tergolong mahal dan import. Dari konsep desain tersebut maka referensi desain yang dipaparkan pada perancangan yang pertama seperti pada Gambar 4.3 menunjukkan perancangan desain tahap pertama.

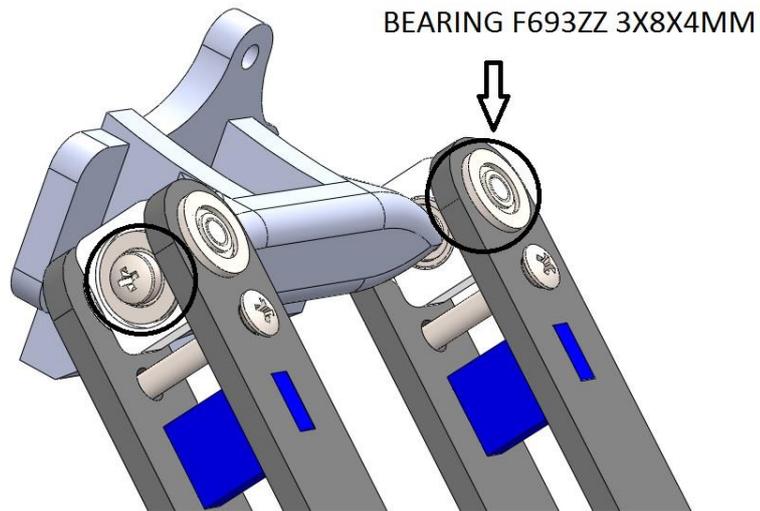


Gambar 4.3 Perancangan Desain Tahap Pertama

Gambar desain diatas pemilihan material terbagi menjadi dua jenis. Untuk sambungan batang dan pengunci lengan terbuat dari akrilik, sementara bantalan carriage dan effector dari bahan PLA melalui proses *3D Printing*.

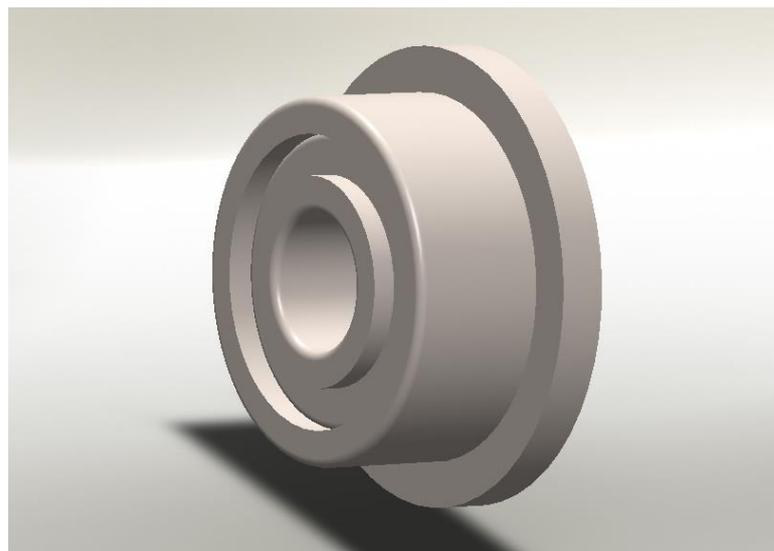
4.1.2 Perancangan Tahap kedua

Perancangan tahap kedua dilakukan setelah konsep pada desain tahap pertama dilakukan. Perubahan dilakukan pada *platform effector* dan engsel sambungan antara lengan dan *mounting*. Faktor dari perubahan dari beberapa komponen disebabkan oleh sifat material. Gambar 4.4 dibawah ini akan menunjukkan perubahan desain yang dilakukan.



Gambar 4.4 Perancangan Desain Tahap Kedua

Penggunaan sambungan engsel diharapkan mampu meminimalisir gesekan yang terjadi, sehingga dibutuhkan material engsel yang memiliki *lifetime* tinggi. Sambungan u joint pengganti *Rod Diagonal Carbon* menggunakan *bearing* pada setiap titik pergerakan engsel. Bearing yang digunakan adalah Bearing F6933zz 3x8x4mm dengan material terbuat dari alumunium.



Gambar 4.5 Desain Bearing F6933zz

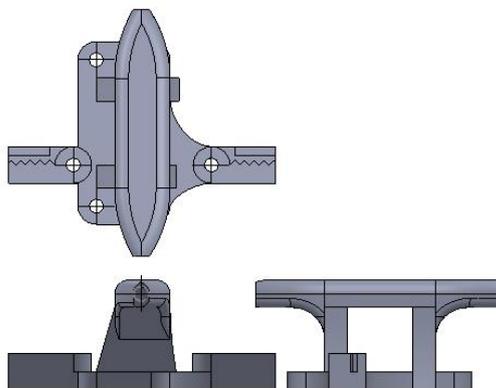
Penggunaan Bearing diharapkan mampu mengurangi gaya gesek yang terjadi pada setiap titik engsel. Bearing F6933zz yang diaplikasikan pada mounting sambungan batang dan Engsel, sehingga membentuk sambungan U joint. Pada desain sebelumnya pergerakan engsel hanya berputar pada poros baut

yang difungsikan juga sebagai pengunci engsel, sehingga fungsi dari engsel tidak dapat dimaksimalkan. Selain itu, *part* engsel dengan material akrilik akan mudah tergerus jika poros merupakan baut. Desain sambungan batang yang memiliki lebar 14 mm sehingga memungkinkan di pasang *bearing* dengan *outer* 8 mm pada *mounting* batang lengan, jarak antara ujung batang dengan titik tengah poros 7 mm. Sehingga memungkinkan untuk dipasangkan bearing sebagai poros dari pergerakan engsel.

Setiap batang lengan terdiri dari gabungan dua lengan sehingga setiap batang lengan memiliki empat *bearing* pada setiap ujung *mounting* batang lengan. Kemudian lengan batang disambungkan dengan engsel poros *bearing* pada *mounting* batang lengan, sehingga *assembly* sambungan batang terdiri dari sembilan *part bearing*. Keseluruhan penggunaan bearing untuk membentuk sambungan batang delta berjumlah 36 bearing.

4.1.3 Perancangan Tahap ketiga

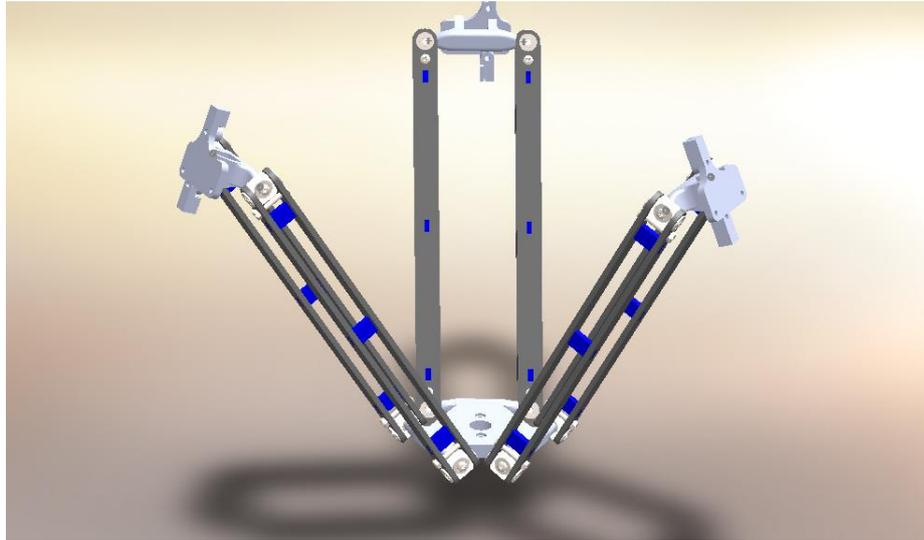
Perancangan tahap ketiga merupakan desain tahap akhir dari proses perancangan secara keseluruhan, perbaikan lebih fokus kepada *carriage*. *Carriage* dihubungkan dengan *belt* yang digerakkan oleh motor, dengan menggunakan motor *stepper* yang terdapat di *bottom plate* dihubungkan pada *carriage* dan bergerek melalui rel atau tiang delta secara vertikal hingga ke titik poros atas. Pada gambar 4.6 dapat dilihat rancangan desain tahap tiga.



Gambar 4.6 Perancangan Desain Tahap Ketiga

Perubahan yang dilakukan pada *carriage* yaitu penambahan pengunci belt, sehingga tidak menghilangkan fungsi yang sudah ada pada alat sebelumnya.

Pengunci belt dibuat untuk mengunci ujung belt yang menggantung pada dua poros. Konsep dari desain mengikat belt sesuai dengan gigi yang dimiliki belt.



Gambar 4.7 Desain Perancangan Model Ketiga

Dari bentuk desain pertama sampai desain ketiga perubahan lebih banyak perubahan pada *carriage*, agar bisa menyesuaikan dengan komponen yang lain pada alat sebelumnya. Desain lengan dan *effector* tetap dipertahankan karena sudah memenuhi konsep desain yang diinginkan.

4.2 Hasil Pembuatan

Pada pembuatan model sambungan batang *3D Printing* tipe delta yang terbagi menjadi beberapa komponen dan material yang berbeda. Komponen dan material yang berbeda dimaksudkan agar proses dan langkah pembuatan dapat di efisien kan baik dari segi waktu pengerjaan hingga kesulitan.

4.2.1 Carriage

Pembuatan model dari komponen yang menggantung pada rel ini merupakan poses FDM menggunakan *3D Printing* delta B01. Komponen ini dibentuk sebanyak tiga *part*, berfungsi untuk *braket* dari sambungan batang hingga membentuk lengan delta.



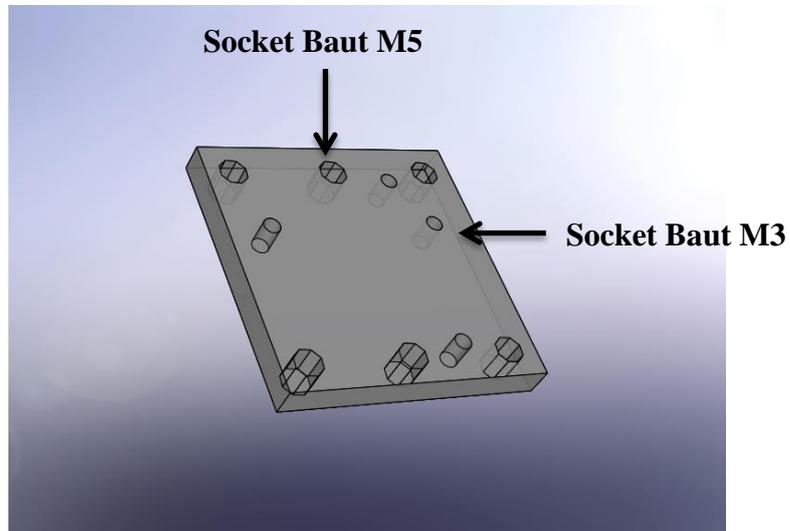
Gambar 4.8 Model Carriage

Carriage dibentuk agar menjadi *Connector* head unit dengan motor penggerak, kemudian terdapat dua pengunci belt dan empat lubang pengunci. Sementara itu desain dua tiang dan ruang kosong ditengah agar belt dapat bergerak tanpa keluar dari relnya. Adapun spesifikasi pada model carriage sebagai berikut.

Tabel 4-1 Spesifikasi Model Carriage

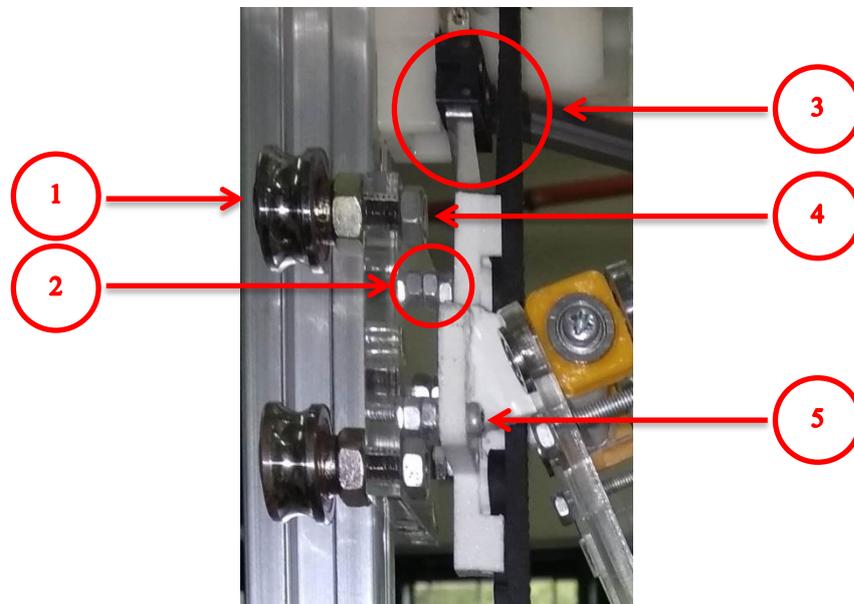
No	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat	10,60 gr
2	Volume	10.604,38 mm^3
3	Surface area	6.334,74 mm^2
4	Material	PLA 1,75 mm
5	Jenis	Carriage
6	Fungsi	Gantungan sambungan batang
7	Cara Kerja	Bergerak melalui rel dan digerakan oleh motor stapper dihubungkan melalui belt

Bergerak vertikal dan menggantung pada tiang, proses kerja *carriage* dibantu oleh tiga roda yang disambungkan menggunakan baut pada bantalan. Bantalan berfungsi sebagai penghubung *carriage* dengan roda pendorong, sehingga tidak perlu mengurangi dimensi dari komponen.



Gambar 4.9 Bantalan Penghubung *Carriage* dengan roda

Bantalan yang berukuran 45x45x5 mm ini terbuat dari bahan akrilik. Terdapat enam lubang baut roda dan tiga lubang baut untuk *carriage*. Proses pemasangan roda tetap menggunakan komponen pada alat sebelumnya, sementara pemasang *carriage* menggunakan tambahan dua mur pada setiap slot baut.



Gambar 4.10 Pemasangan *Carriage* dengan roda

1. Roda pendorong
2. Mur 2xM3
3. *Switch End Stop*
4. Mur M5
5. Baut M3

Roda penggerak dibutuhkan sebanyak tiga roda agar mampu mendorong dengan baik. Pada poin kedua terdapat Mur 2xM3 tiap baut pengunci *carriage*, supaya memungkinkan tinggi *carriage* setara dengan *switch endstop*. Sehingga desain ujung pengunci *belt* dapat difungsikan sebagai *switch* pada control lengan melalui *driver*.

4.2.2 Sambungan Batang

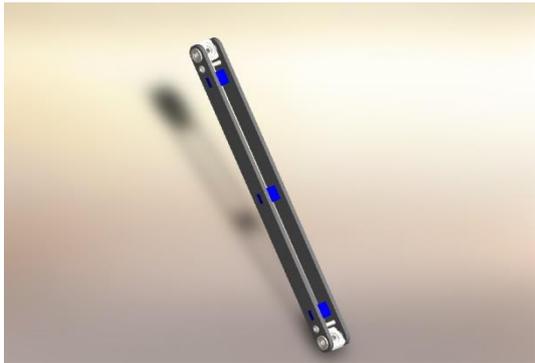
Sambungan batang merupakan transformasi dari derajat kebebasan x,y,z yang dihubungkan dengan *effector* dan *carriage*. Proses pembuatannya dibagi menjadi dua proses, proses pertama pembentukkan lengan dan pengunci dari material akrilik sementara proses kedua pembentukan engsel dengan bahan PLA. Dibawah ini akan dijelaskan beberapa proses pembuatan sambungan batang.



Gambar 4.11 Sambungan Batang

Perancangan sambungan batang setiap lengannya terdiri dari tiga pengunci dan terdapat baut pengunci pada tiap ujung sambungan batang, fungsi dari pengunci agar gabungan dua lengan dapat saling menopang dan menjadi struktur sambungan batang yang cukup kuat dari segi dimensi dan material. Adapun spesifikasi dari sambungan batang dapat dilihat pada tabel 4-2 berikut ini.

Tabel 4-2 Spesifikasi Sambungan Batang

No	Spesifikasi	Keterangan
1.	Gambar	
2.	Berat Total	34,65 gr
3.	Volume	21.277,36 mm ³
4.	Surface area	22.267,03 mm ²
5.	Komponen	Bearing F6933zz
		Akrilik 5mm
		PLA
		Baut dan Mur M3
6.	Fungsi	Derajat Kebebsan x,y,z
7.	Cara Kerja	Bergerak mengikuti arah gerak motor <i>stepper</i> . saling berhubung antar lengan, mengarahkan <i>effector</i> kepada titik koordinat tertentu

Lengan dan pengunci lengan dibentuk melalui proses pemesinan *lasser cutting*, bahan yang digunakan terbuat dari akrilik. Sementara untuk engsel dibentuk melalui proses FDM menggunakan Mesin *3D Printing* B01. Pada gambar 4.12 merupakan komponen penghubung sambungan batang



Gambar 4.12 Engsel Penghubung

komponen tersebut berfungsi sebagai penghubung sambungan batang dengan mounting *Carriage* dan *Effector*. Memiliki *inner* yang berfungsi sebagai tempat bantalan, sehingga pusat pergerakan terdapat pada bantalan komponen penghubung dan *mounting* sambungan batang.

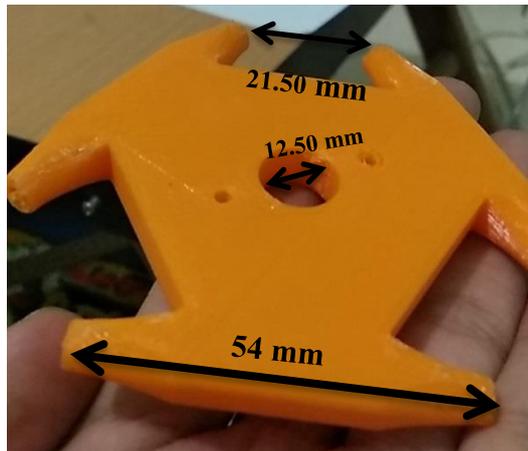


Gambar 4.13 Bearing F6933zz

Menggunakan *bearing* F6933zz dengan diameter *inner* 3mm memungkinkan poros dapat dikunci dengan menggunakan baut M3. Setiap satu sambungan batang terdapat enam bearing yang dipasang pada lengan dan penghubung lengan. Sehingga peran magnet dapat digantikan dengan penggunaan *bearing* atau bisa disebut dengan sambungan U joint dengan pemanfaatan *bearing*.

4.2.3 Effector

Pembentukan komponen yang berhubungan dengan head unit ini dilakukan dengan proses FDM melalui mesin *3D Printing* B01. Proses pembentukan dilakukan dengan *slicing* menggunakan *software* Cura 3.3.1, dengan *infill Density* 30% dan *infill line Distance* 2 mm untuk mencari beban yang ringan tetapi memiliki permukaan yang cukup padat, kepadatan dipengaruhi juga dengan *infill patter* berjenis *lines* hingga pembentukan lebih rapat. Gambar 4.14 akan menunjukkan hasil dari pembentukan komponen *Effector*.



Gambar 4.14 Komponen *Effector*

Gambar diatas merupakan hasil pembentukan komponen *effector*. memiliki *inner* yang berfungsi untuk socket dari selang pengisi, terdapat juga dua socket untuk baut m3 agar *head unit* dapat menggantung pada *effector*. Sudut *Effector* ditentukan dari :

$$\begin{aligned}\text{Sudut} &= \frac{360^\circ}{3} \\ &= 120^\circ\end{aligned}$$

Sehingga penentuan titik tengah *mounting* dengan jarak 120°. Sementara penentuan jarak antar *mounting* berdasarkan panjang permukaan dari *Carriage* 54 mm. Adapun spesifikasi dari hasil pembentukan dari komponen *effector* terdapat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4-3 Spesifikasi Komponen *Effector*

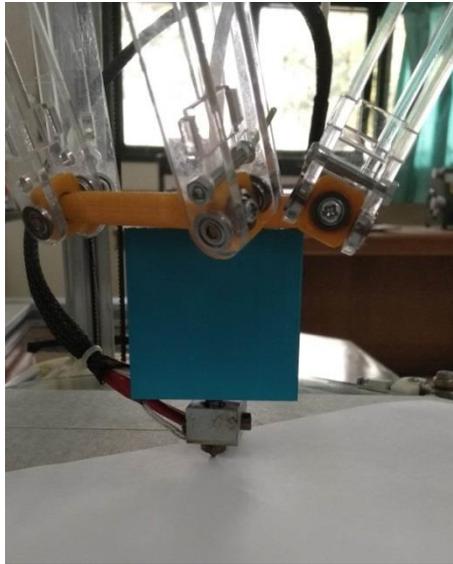
No	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat	26,75 gr
2	Volume	26.227,12 mm ³
3	Surface area	11.102,81 mm ²
4	Material	PLA 1.75 mm
5	<i>Jenis</i>	<i>Effector</i>
6	Fungsi	Konektor sambungan batang ke <i>head unit</i> Komponen tempat <i>head unit</i>
7	Cara Kerja	Bersama tiga sudut lengan menentukan titik koordinat tertentu.

4.3 Proses Pengujian

Setelah proses pembuatan selesai diperlukan pengujian dari sambungan batang. Hasil Pengujian diperoleh melalui proses kalibrasi dengan menggunakan software Repetier Host. Parameter yang diambil dalam menentukan sambungan alat tersebut berfungsi adalah dengan proses pembentukan benda kerja sebagai *sampel*. Pengujian yang dilakukan adalah proses bagaimana sambungan batang mampu bergerak sesuai derajat kebebasan x,y,z sehingga dapat berfungsi dengan baik.

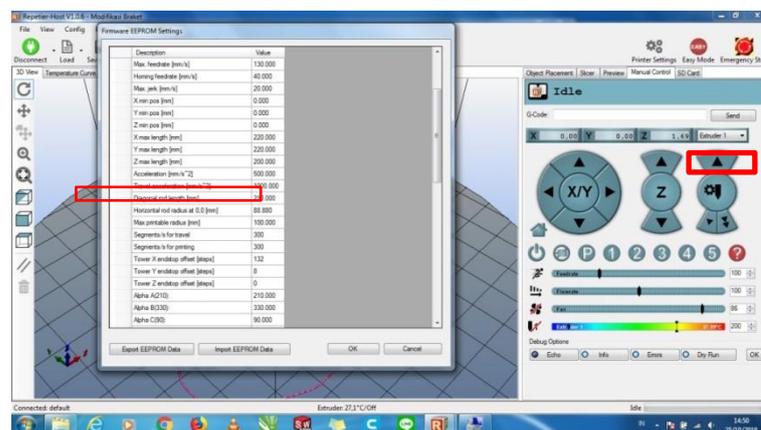
Tahap pertama yang dilakukan proses *assembly* semua komponen yang sudah dibentuk, *carriage* dikencangkan dengan baut agar bisa bergerak menggunakan roda, setiap engsel disambungkan dan dikencangkan agar menjadi struktur lengan delta. Tahap selanjutnya instalasi selang pengisi hingga adaptor dan usb konektor, agar pengujian dapat dilakukan menggunakan software.

Software Repetier Host di akses menggunakan perangkat laptop atau PC kemudian usb konektor disambungkan. Untuk dapat mengakses *3D Printing* delta menggunakan *software* diperlukan penyesuaian *device* COM, agar dapat terkoneksi.



Gambar 4.15 Proses Kalibrasi

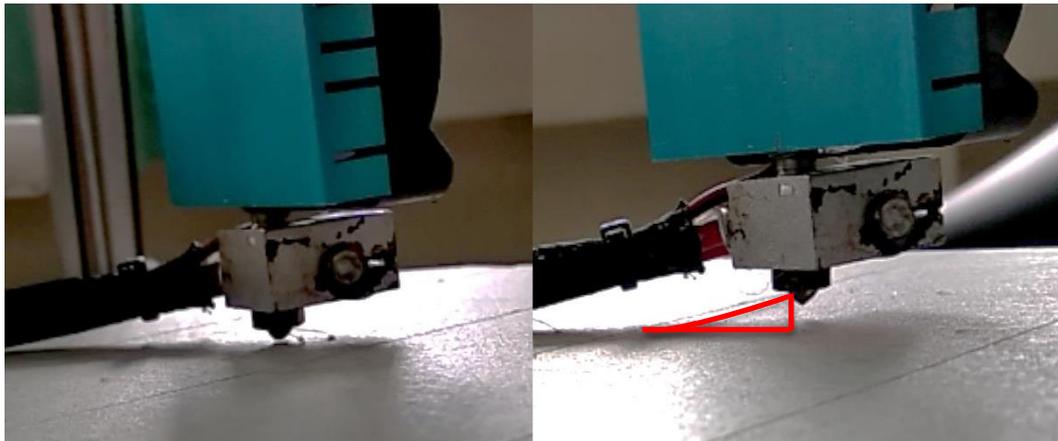
Proses kalibrasi dilakukan dengan menggunakan selembur kertas, fungsi dari kertas untuk menentukan batas *nozzle* dengan *bottom Plate*, batas maksimal jarak yang dibutuhkan sebesar 3mm, agar filamen yang dikeluarkan dari *extruder* membentuk pola sesuai dengan dimensi desain. Sambungan bergerak mulai dari Posisi $Z=0$ atau posisi home, digerakkan melalui kontrol pada *repetier host*. Kemudian z digerakan ke posisi minus atau turun hingga menyentuh batas kertas. pada *software* di klik *firmware eeprom setting*. Pada gambar 4.16 dapat dilihat penentuan *Z max length* dalam mm.



Gambar 4.16 Firmwire EEPROM setting

Pada gambar diatas merupakan proses penentuan batas bawah pergerakan nozzle, Z max lenght dengan nilai awal 200 mm dikurangi dengan nilai sisa axis Z pada kontrol sebesar 1,69 mm. Sehingga didapatkan Z max lenght dengan menggunakan sambungan batang ini sebesar 198,31 mm.

Setelah didapatkan batasan atas dan batasan bawah pergerakan sambungan batang, proses pengujian dilanjutkan dengan percobaan membentuk sebuah benda. Proses pengujian menggunakan dua metode, metode pertama percobaan tanpa filamen dan percobaan kedua menggunakan filamen.



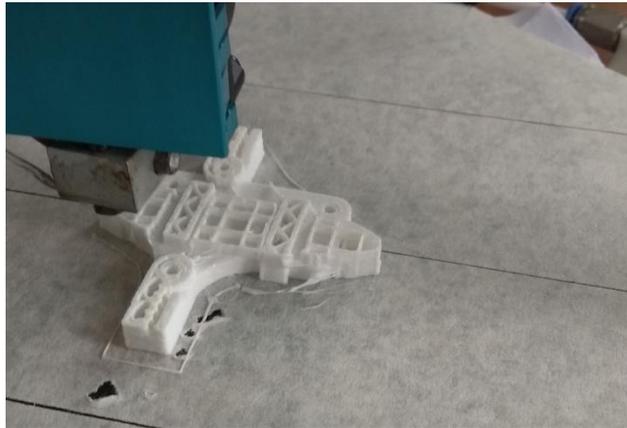
Gambar 4.17 Proses Pencetakan Kering



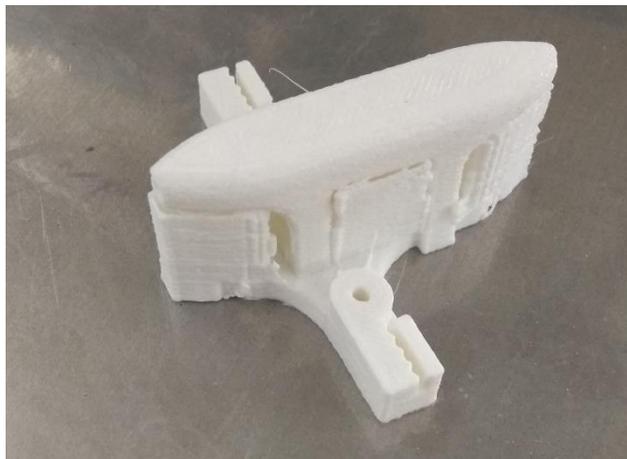
Gambar 4.18 Hasil Pencetakan

Hasil pengujian yang didapatkan dari dua metode yang digunakan. Pada proses pencetakan kering pada Gambar 4.17 menunjukkan hasil pergerakan x,y dari posisi z max mengambang, sementara Gambar 4.18 contoh produk menggunakan metode penggunaan filamen sehingga menghasilkan cacat produk. hal tersebut kemudian menjadi bahan evaluasi perbaikan, kegagalan yang ditemukan adalah *bottom plate* yang tidak rata sehingga perlu kalibrasi, proses kalibrasi menggunakan *watterpas* dan menambah ketinggian bidang *layer* yang

tidak rata. Kemudian dilakukan pengujian pencetakan yang kedua dengan menggunakan filamen, seperti Gambar 4.19 berikut ini.



Gambar 4.19 Proses Pencetakan Kedua



Gambar 4.20 Hasil Pencetakan Kedua

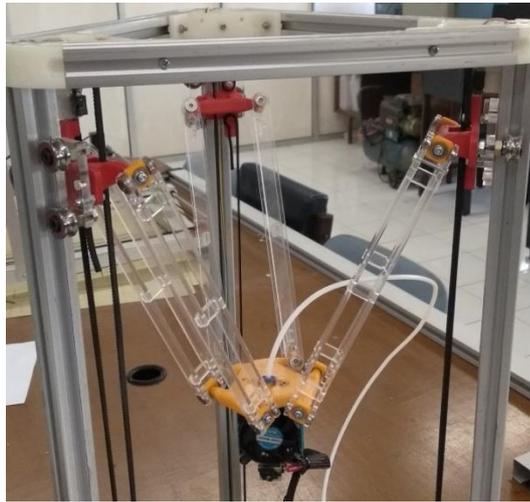
Hasil pencetakan merupakan hasil akhir dari pengujian, dengan kriteria alat mampu menghasilkan pergerakan yang sesuai dengan derajat kebebasan xyz *3D Printing* delta. Produk yang dihasilkan sesuai dengan pola desain yang di input, *extruder* menghasilkan produk sesuai *gcode* yang di input tanpa cacat.

4.4 Analisis dan Pembahasan

Proses pengujian yang telah dilakukan merupakan pengaplikasian sambungan batang pada struktur alat *3D Printing* tipe Delta kemudian dibandingkan dengan *Diagonal Push Rod* karbon.

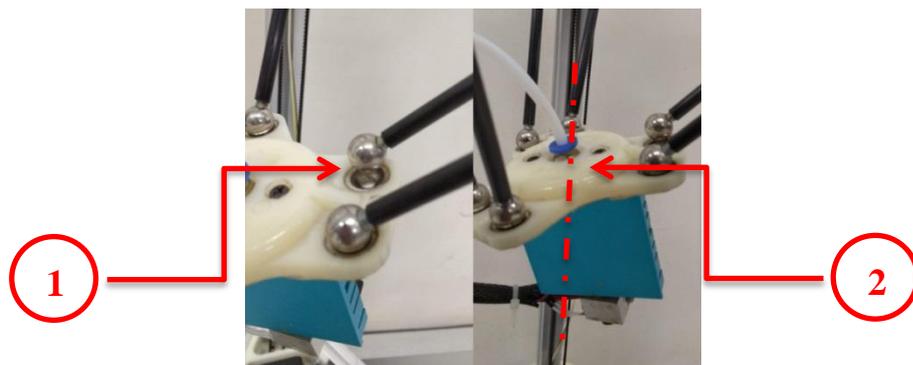
Pengujian tersebut dilakukan dalam beberapa tahapan mulai dari pengujian kalibrasi alat, hingga proses pencetakan dengan dua metode. Hasil yang didapatkan pada proses pengujian adalah sambungan batang tersebut

mampu membentuk produk sesuai desain yang di *input* melalui *software* Repetier Host, tanpa kegagalan akibat sambungan jatuh dan pergerakan xy yang tidak pada koordinatnya. Menggunakan material sesuai dengan konsep desain, berupa material akrilik dan PLA 1.75 sebagai material komponen utama. Menyesuaikan desain dengan struktur Delta yang ada pada alat, untuk meminimalisir penggantian komponen. Pada gambar 4.21 dapat dilihat model sambungan batang.



Gambar 4.21 Model Sambungan Batang

Perbaikan ini dibentuk berdasarkan permasalahan pada sambungan batang *Diagonal Push Rod* karbon pada alat sebelumnya dengan struktur yang sama. Terjadi kegagalan sambungan batang dalam mempertahankan posisi sambungan antara *ball joint* sebagai *mounting* lengan dengan bantalan magnet, sehingga posisi xyz lengan saat bergerak tidak beraturan dan mengakibatkan lengan tidak kuat dan jatuh, sehingga proses mencetak gagal. Dapat ditunjukkan pada gambar 4.22 berikut ini.



Gambar 4.22 Kegagalan *Diagonal Push Rod*

Gambar 4.22 merupakan faktor kegagalan saat proses pencetakan menggunakan sambungan *Diagonal Push rod* karbon. Gambar nomor satu menunjukkan *ball joint* terangkat dari bantalan magnet, sementara gambar nomor dua menunjukkan posisi head unit sudah tidak vertikal dan keluar dari titik koordinat.

Pembuatan model sambungan batang mesin *3D Printing* tipe delta terdapat kelebihan dan kekurangan, adapun kelebihan yang dapat diketahui sebagai berikut:

1. Lengan tidak mudah copot, karena penggunaan engsel sebagai *connector* sambungan.
2. *Maintenance* sambungan dapat lebih murah dari segi biaya dan penggantian jika dibandingkan dengan sambungan sebelumnya dengan total *cost* produksi.

Tabel 4-4 Total cost pembuatan sambungan batang

No	Jenis	Satuan	Biaya (Rp)
1	Bahan Akrilik	Lembar	Rp40.000,00
2	Jasa Potong akrilik	3000/menit @ 8	Rp24.000,00
3	Pemakaian Listrik	8 jam kerja	Rp819,33
4	Pemakaian <i>Bearing</i>	36 pcs	Rp342.000,00
5	Pemakaian Baut dan Mur	pcs	Rp6.900,00
6	Pemakaian PLA	gr	Rp13.013,50
Total			Rp426.732,83

Perbandingan cost yang dikeluarkan dari *push rod diagonal carbon* dengan sambungan batang yang dibuat, dapat dibandingkan melalui data berikut ini

- Harga *rod diagonal carbon* / 6 batang
 US\$ = 26,4 ~ 33,16
 IDR = 408.000 ~ 476.000 Rupiah
- 1 set sambungan kossel k800 (*Carriage, Effector & Arm rod carbon*)
 US\$ = 75,64~ 120
 IDR = 1.084.847 ~ 1.720.170 Rupiah
 (1 US\$ = 14.303 IDR) *harga menurut situs jual beli Aliexpress

Adapun kekurangan desain sambungan batang pada mesin *3D Printing* tipe delta yang dapat diketahui sebagai berikut:

1. Proses waktu yang lebih lama untuk melepaskan sambungan dari effector, karena sambungan didesain menggunakan baut dan mur sebagai pengunci. Sehingga memperlambat proses kalibrasi *length* dari axis Z. Jika dibandingkan pada alat sebelumnya hanya menggunakan penghubung.
2. Material PLA dengan density 100% dengan diameter 3mm pada engsel belum dapat diuji kekuatannya, sehingga risiko terjadi patah sangat mungkin.

Perancangan sambungan batang pada lengan dengan menggunakan bahan akrilik dapat diganti dengan material yang memiliki tingkat kekakuan yang lebih tinggi dari pada akrilik. Penggantian ini dimaksudkan apabila sambungan batang untuk produksi massal dan mencegah terjadinya patah pada lengan. Bahan material dapat diganti dengan plat aluminium tebal 3mm sebagai pengganti lengan, untuk proses pemesinan bisa menggunakan laser potong plat.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan pada sub-sub sebelumnya maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Telah dirancang dan dibuat model sambungan batang pada mesin *3D Printing* tipe Delta yang cukup kuat pengganti magnet sebagai *connector* dengan berat total 442,55 gr. sambungan dengan menggunakan material akrilik dan PLA yang lebih ringan dan mekanisme yang lebih fleksibel dengan penambahan bearing pada setiap engsel dan mounting. Sehingga faktor kegagalan proses pencetakan dapat dikurangi dan biaya perbaikan dari bahan material dapat dikurangi.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Berikut saran yang dapat penulis sampaikan berdasarkan penelitian yang dilakukan:

1. Pada penelitian selanjutnya proses konsep desain menganalisis kekuatan sehingga menjadi referensi untuk pembuatan skala besar.
2. Dapat membandingkan jenis material yang akan digunakan.
3. Melakukan pengujian tekan pada sambungan batang.
4. Menggunakan material untuk bisa diproduksi massal

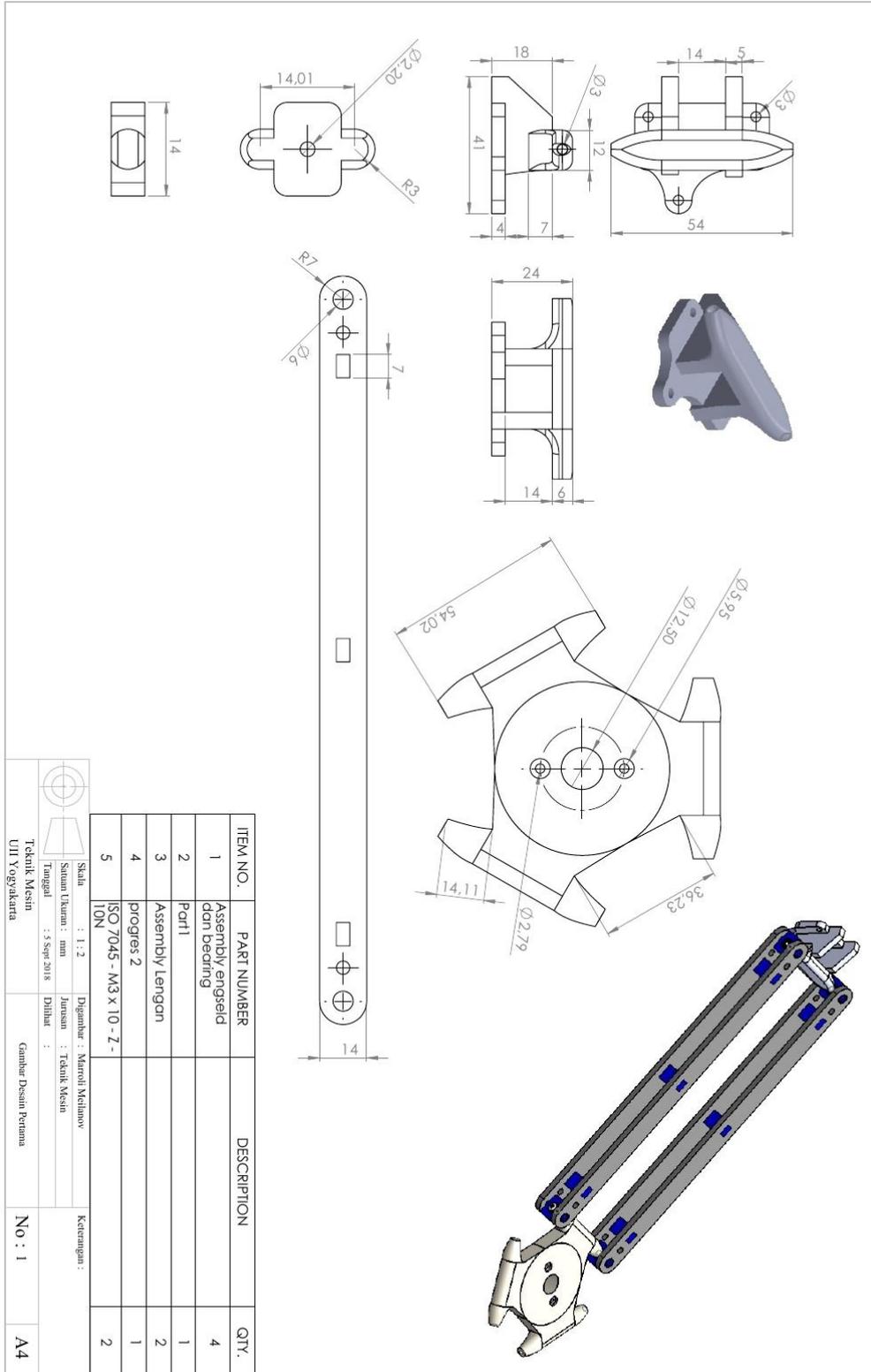
DAFTAR PUSTAKA

- Grutle, Kallevik, & Øyvind. (2015). 5-axis 3D Printer. Diambil dari https://www.academia.edu/15736899/5-axis_3D_Printer
- Lily Bearing. (2015, Juli 3). Diambil 9 Oktober 2018, dari <https://www.lily-bearing.com/ball-bearings/miniature-bearing/miniature-flanged-bearings/metric-miniature-flanged-bearings/f683zz-2/>
- Marlin. (2018, September 30). Configuring Marlin 1.1. Diambil 17 Oktober 2018, dari <http://marlinfw.org/docs/configuration/configuration.html>
- Robert L. Williams. (2016). *The Delta Parallel Robot: Kinematics Solutions*. Mechanical Engineering, Ohio University. Diambil dari www.ohio.edu/people/williar4/html/pdf/DeltaKin.pdf,
- Rostock 3D Printer - BI Edition 1.0*. (2013) (BI Edition 1.0).
- SoliForum, 3D Printing Community. (2014, Mei 3). XYZprinting Da Vinci 2.0A Duo with repetier firmware need help. Diambil 18 Oktober 2018, dari <http://www.soliforum.com/topic/16984/xyzprinting-da-vinci-20a-duo-with-repetier-firmware-need-help/>
- Spherical to Cartesian Coordinates Calculator. (t.t.). Diambil 18 Oktober 2018, dari <http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/Spherical-to-cartesian-rectangular-coordinate-converter-calculator.php>
- Willmann-Bell, & Virginia. (1991). *Astronomical Algorithm*.
- Xy, K. (t.t.). Charles Bell Technology in AcTion™ 3D Printing with Delta Printers. Diambil dari

https://www.academia.edu/27450299/Charles_Bell_Technology_in_Activation_of_3D_Printing_with_Delta_Printers

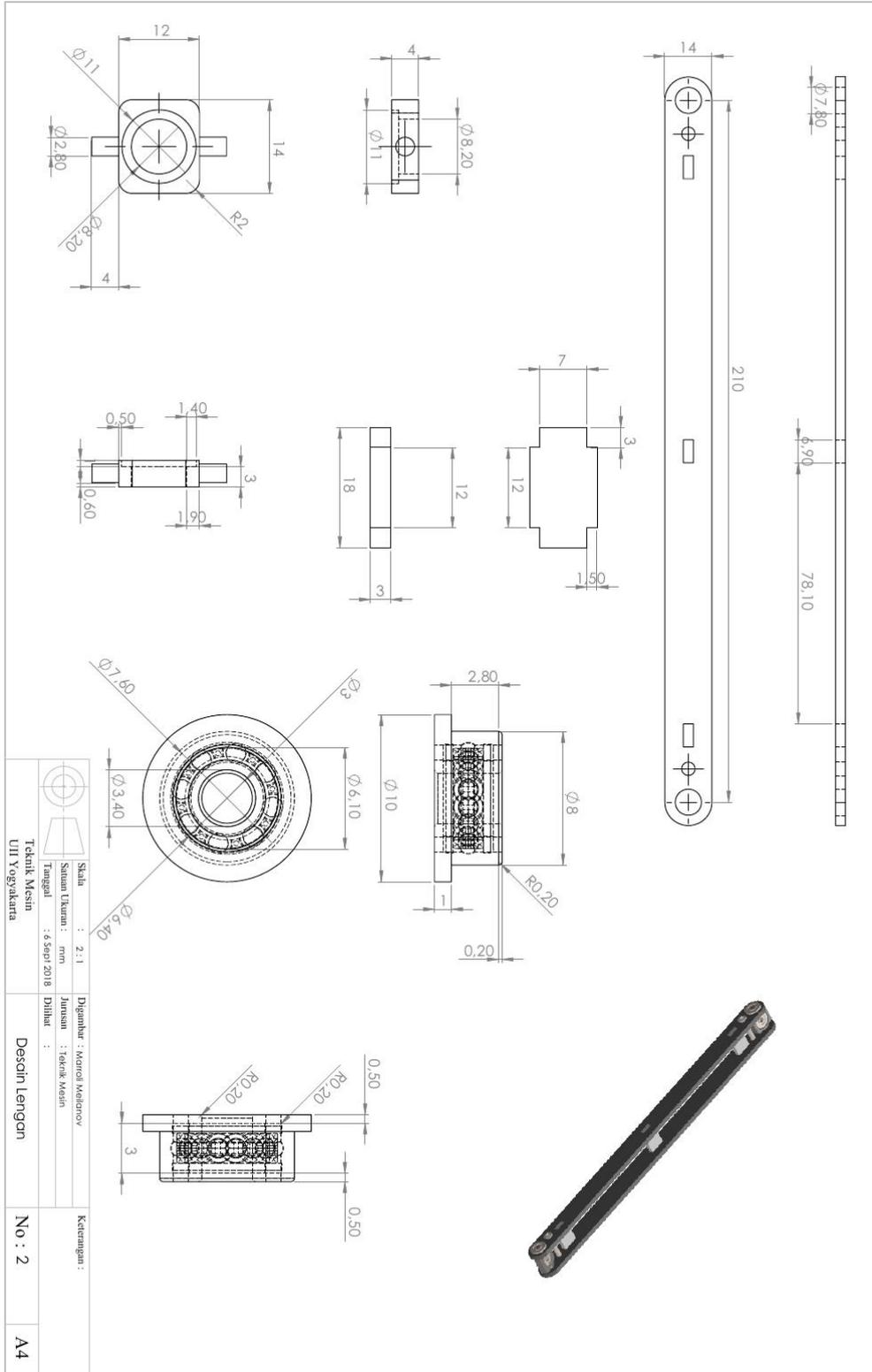
LAMPIRAN 1

DESAIN SAMBUNGAN BATANG TAHAP 1



LAMPIRAN 2

DESAIN SAMBUNGAN BATANG TAHAP 2



LAMPIRAN 1

GAMBAR DESAIN SAMBUNGAN BATANG

