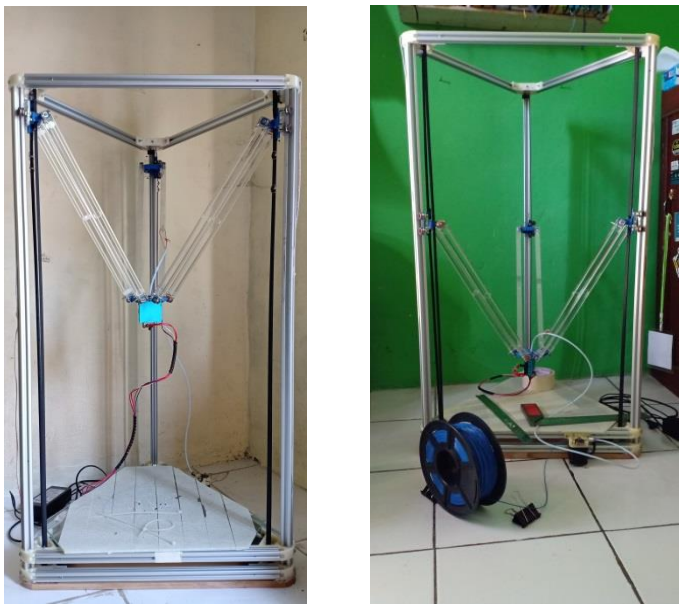
BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan

Dalam menentukan hasil sebuah perancangan terdapat beberapa parameter yang dilakukan dalam proses perancangan, tahapan yang dilakukan dalam desain rangka 3D Printer Delta 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 dan juga kerangka 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. Pada gambar 4.1 Merupakan model *3D Printing* Delta.



Gambar 4.1 Hasil Perancangan 3D Printing Delta

Konsep yang menjadi dasar perancangan dari 3d *printing* delta adalah kuat, ringan, murah dan juga memiliki dimensi yang besar, 4 konsep tersebut berdasarkan permasalahan.

4.2 Hasil Pembuatan

Pada pembuatan rangka *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.

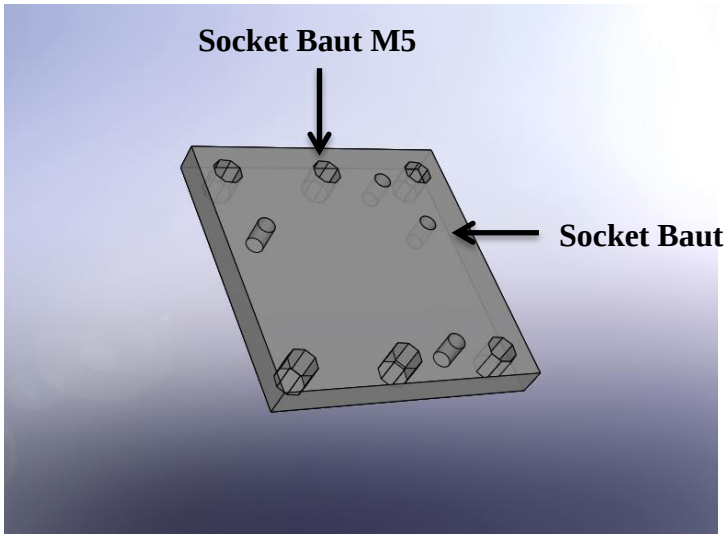
Gambar 4.2 Model Carriage

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*

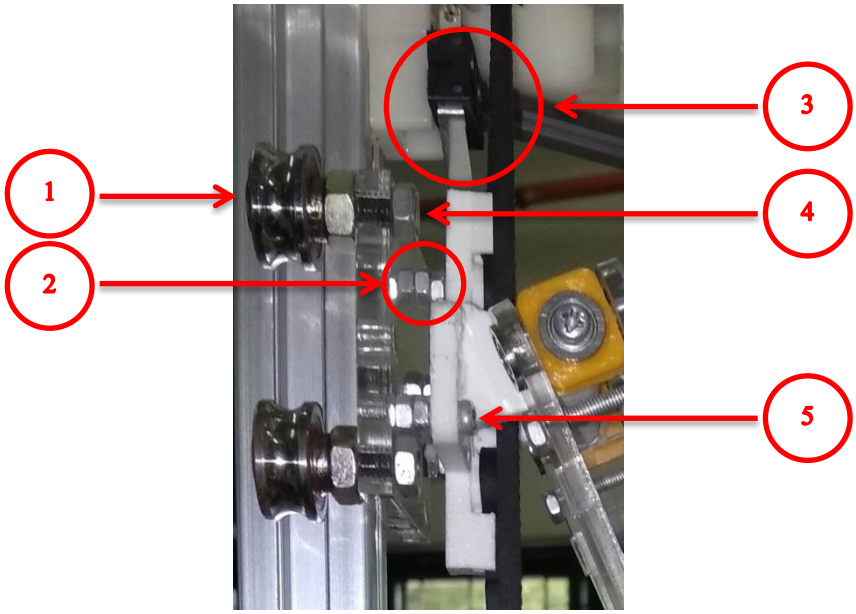
No	**Spesifikasi**	**Keterangan**
1	Berat	10,60 gr
2	Volume	10.604,38 mm^3
3	Surface area	6.334,74 mm^2
4	Material	PLA 1,75 mm
5	Jenis	Carriage
6	Fungsi	Gantungan sambungan batang
7	Cara Kerja	Bergerak melalui rel dan digerakan oleh motor stapper dihubungkan melalui belt

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 4.3 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 4.2 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 sebagit *switch* pada control lengan melalui *driver*.

4.2.2 Sambungan Batang

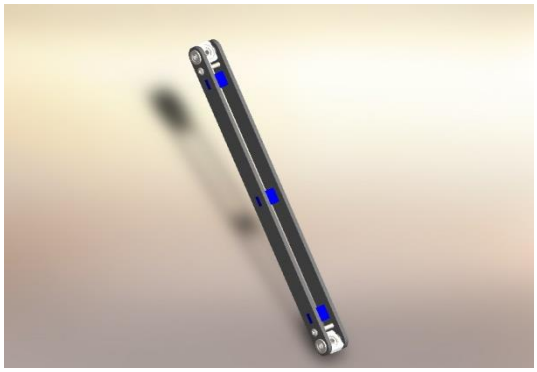
Sambungan batang merupakan tranformasi dari derajat kebebasan x,y,z yang dihubungkan dengan *effector* dan *carriage*. Proses pembuatannya dibagi menjadi dua proses, proses pertama pembentukkan lengan dan pengunci dari material akrilik sementara proses kedua pembentukan engsel dengan bahan PLA. Dibawah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

Gambar 4.5 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 *stepper*. saling berhubung antar lengan, mengarahkan *effector* kepada titik koordinat tertentu

Tabel 4-3 Spesifikasi Rangka Batang

No	Spesifikasi	Keterangan
1.	Gambar	
2.	Berat Total	496,2 gr
3.	Volume	128.854 mm^3
4.	Surface area	2095.825 mm^2
5.	Komponen	Sambungan Batang
		Alumunium *Profile* T
		PLA
		Baut dan Mur M3
6.	Fungsi	Komponen Utama Rangka 3D *Printing* Delta
7.	Cara Kerja	Penyangga 3D *Printing* Delta supaya struktur rigid

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

Gambar 4.6 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 4.7 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*.

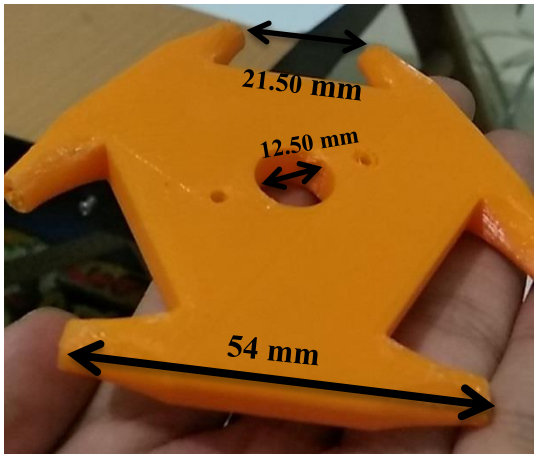
4.2.3 Sambungan Rangka

Menggunakan sambungan ini untuk menguhubungkan antara lengan 1 dan yang lain, sambungan ini menggunakan yang sudah ada sebelumnya dikarenakan volume rangka yang digunakan ukurannya sama.

Gambar 4.8 *Sambungan Rangka*

4.2.4 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 menunjukan hasil dari pembentukan komponen *Effector*.



Gambar 4.9 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 :

$$\text{Sudut} = \frac{360°}{3}$$

$$= 120°$$

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.

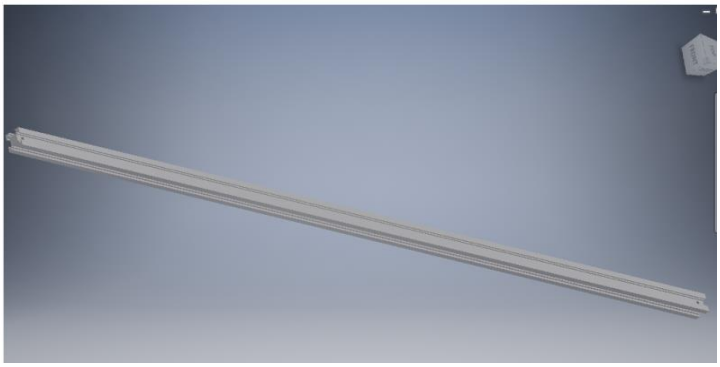
Tabel 4-4 Spesifikasi Komponen *Effector*

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	*Jenis*	*Effector*
6	Fungsi	Konektor sambungan batang ke *head unit* Komponen tempat *head unit*

7	Cara Kerja	Bersama tiga sudut lengan menentukan titik koordinat tertentu.

4.2.5 Rangka Batang 100 cm

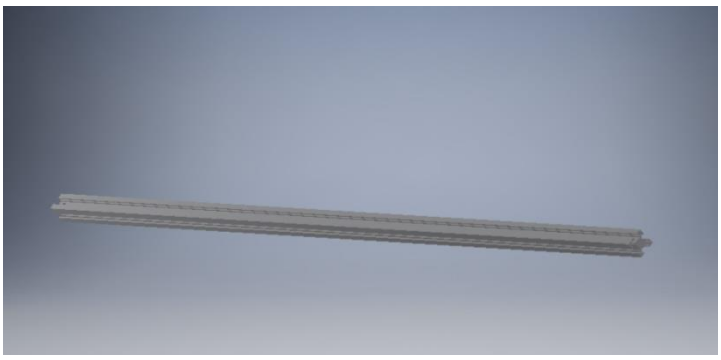
Menggunakan rangka batang sebagai rangka utama dan menyambungkan anatar segitiga bawah dan atas dari 3D Printing Delta.



Gambar 4.10 Komponen Rangka Batang

4.2.6 Rangka Batang 46 cm

Rangka ini yang membentuk segitiga ujung atas dan bawah yang menyangga rangka 1000 mm dan suapaya rangka 3D Print lebih rigid



Gambar 4.11 Komponen Rangka Batang

4.3 Perhitungan

Untuk mengetahui kekuatan material yang digunakan apakah aman atau tidak maka perlu dilakukan analisa statis dengan inventor, untuk mengetahui kekuatan beban yang diperlukan maka perlu perhitungan.

- **F = m x g**

F = *massa x gravitasi*

$F = (\text{massa dudukan nozel} + \text{massa nozel} + \text{massa lengan}) x\ 9.81\ m/s^2$

$F = 0.088\text{N} + 0.049\text{N} + 0.205\text{N} = 0.342\text{N}$

- **Berat beban**

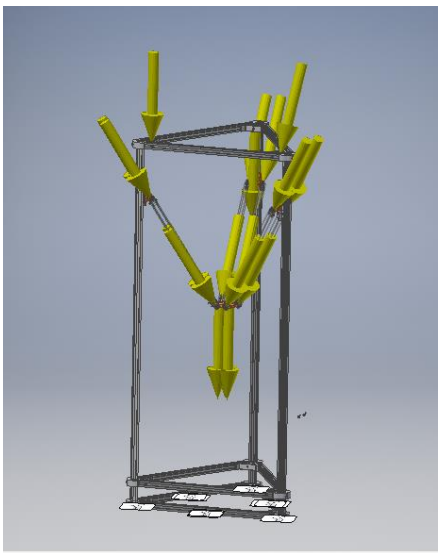
$m\left(\text{dudukan}\ \frac{\text{nozel}}{3}\right) = 0.009\text{kg} = 0.088\text{N}$

$m\left(\text{berat}\ \frac{\text{nozel}}{3}\right) = 5\text{g} = 0.049\text{N}$

m(lengan) = 0.021 kg = 0.205N

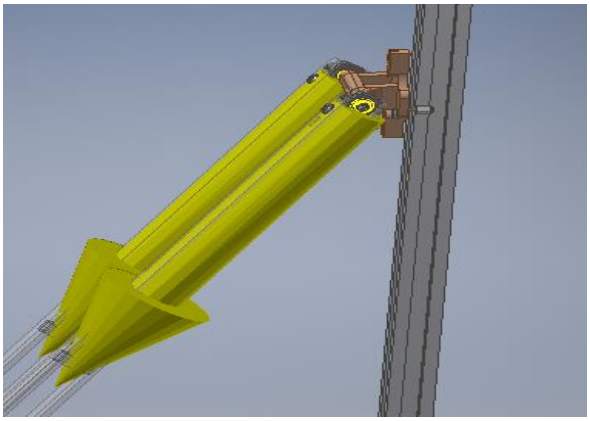
- ***Force*** 1kg = 9,81N

Distribusi beban yang diberikan pada bearing atas dan pada baut penahan *bearin*g adalah **0.342N** kemudian disebar menjadi 9 titik merata.



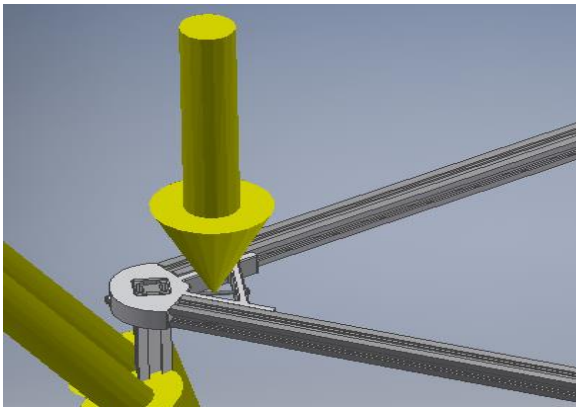
Gambar 4.12Analisa Beban

Pembebanan arahnya menuju bawah karena adanya tekanan kebawah yang disebabkan oleh berat *efector*, lengan dan nozel. Pembebanan terjadi pada dua titik lengan yaitu pada engsel pada *efector*



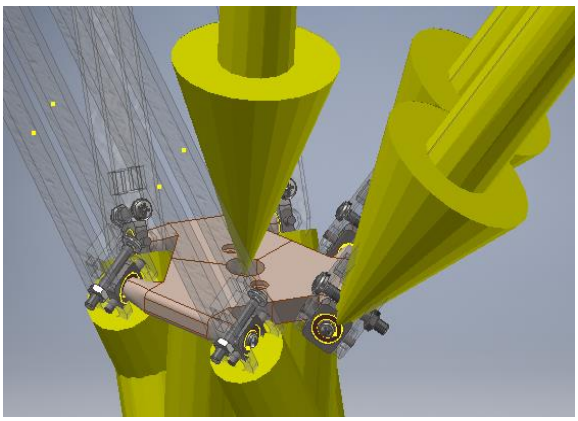
***Gambar 4.13 Arah Pembebanan* 1**

Distribusi beban yang diberikan adalah **0.342 N** pada baut dudukan *bearing* atas.



***Gambar 4.14 Arah Pembebanan* 2**

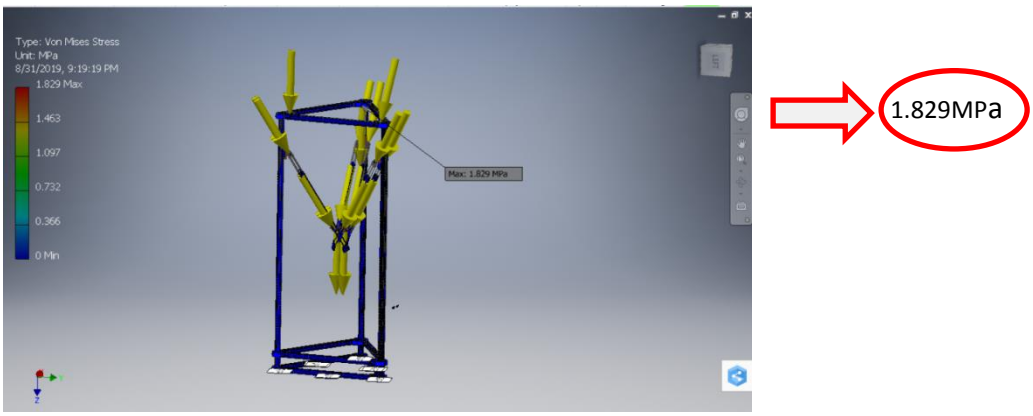
Pembebanan yang diberikan pada *efector* arahnya kebawah karena tekanan kebawah yang disebabkan oleh berat *efector*, lengan dan nozel. Asumsi gaya diletakkan pada titik tengah *efector* dan pada engsel.



***Gambar 4.15 Arah Pembebanan* 3**

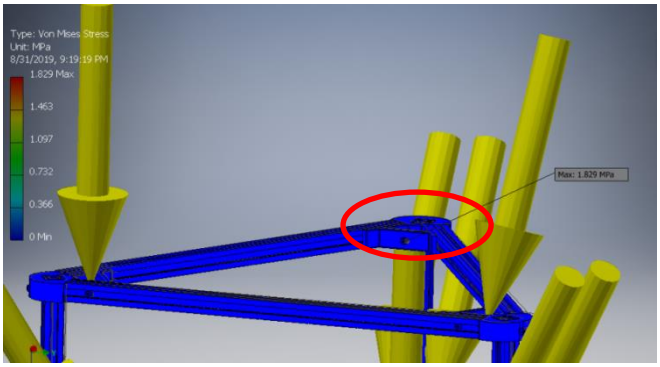
Hasil dari analisa statis Von Misses menunjukan nilai yang masih aman dan dibawah nilai max kekuatan bahan.

- Von Mises

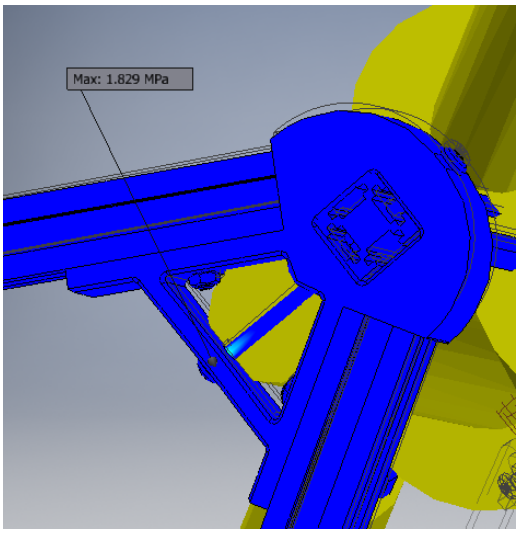


***Gambar 4.16 Hasil Analisa* 1**

Hasil analisa statis menunjukan titik maximal terjadi pada baut penahan bearing pada ujung atas sambungan rangka.



***Gambar 4.17 Hasil Analisa* 2**



***Gambar 4.17 Hasil Analisa* 2**

Spesifikasi dari kekuatan bahan dari baut yang digunakan adalah

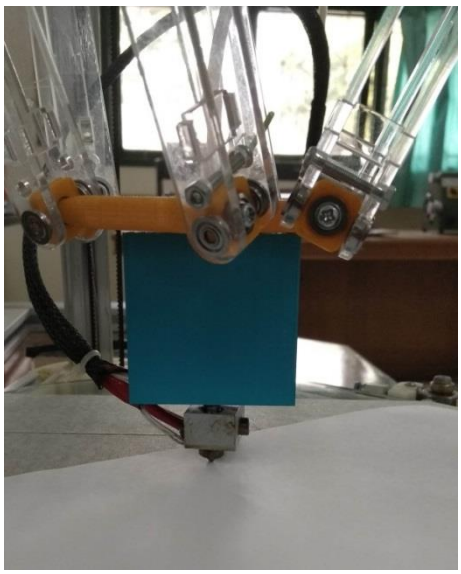
Name	Stainless Steel, 440C	
General	Mass Density	7.75 g/cm^3
	Yield Strength	689 MPa
	Ultimate Tensile Strength	861.25 MPa
Stress	Young's Modulus	206.7 GPa
	Poisson's Ratio	0.27 ul
	Shear Modulus	81.378 GPa

***Gambar 4.18 Spesifikasi Alumunium Profile* T**

4.4 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.

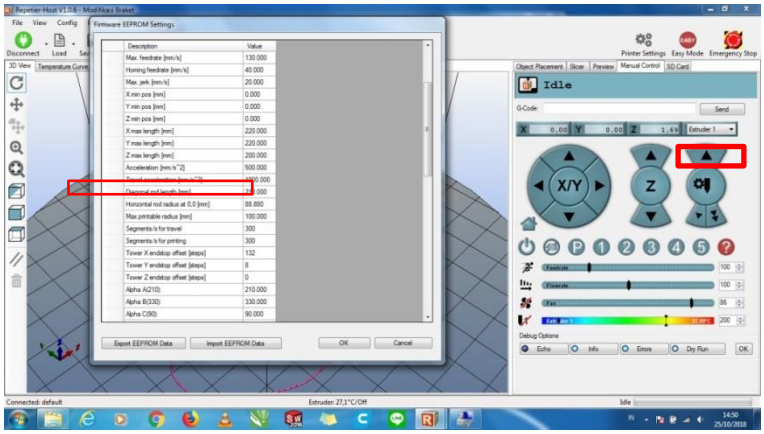
Tahap pertama yang dilakukan proses *assembly* semua komponen yang sudah dibentuk, *carriage* dikencangkan dengan baut agar bisa bergerak menggunakan roda, setiap engsel disambungkan dan dikencangkan agar menjadi struktur lengan delta. Tahap selanjutnya instalasi selang pengisi hingga adaptor dan usb konektor, agar pengujian dapat dilakukan mengguanakan 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 4.19 Proses Kalibrasi

Proses kalibrasi dilakukan dengan menggunakan selembar kertas, fungsi dari kertas untuk menentukan batas *nozzle* dengan *bottom Plate,* batas maksimal jarak yang dibutuhkan sebesar 3mm, agar filamen yang dikeluarkan dari *extruder*

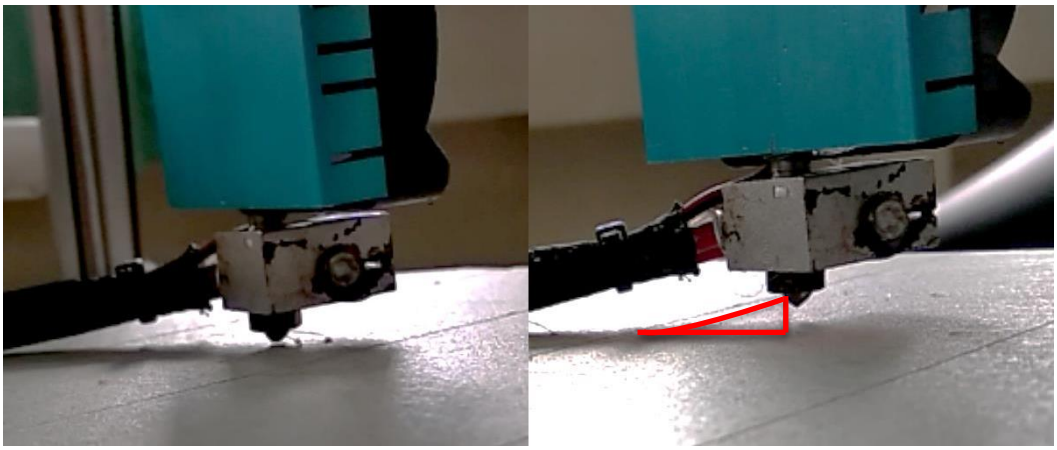
membentuk pola sesuai dengan dimensi desain. Sambungan bergerak mulai dari Posisi Z=0 atau posisi home, digerakkan melalui kontrol pada repetier host. Kemudian z digerakan ke posisi minus atau turun hingga menyentuh batas kertas. pada software di klik *firmware eeprom setting*. Pada gambar 4.20 dapat dilihat penentuan *Z max length* dalam mm.



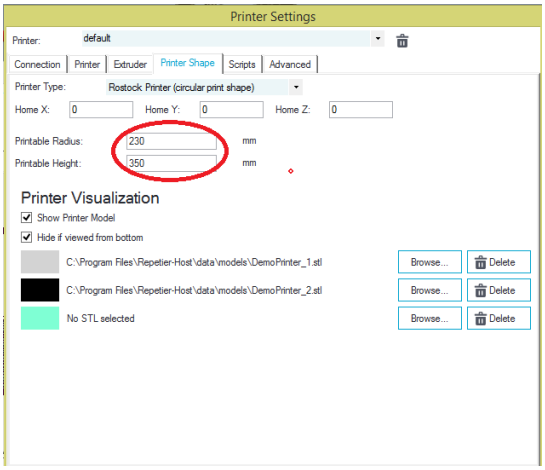
Gambar 4.20 Firmwire EEPROM setting

Pada gambar diatas merupakan proses penentuan batas bawah pergerakan noozle, Z max lenght dengan nilai awal 200 mm dikurangi dengan nilai sisa axis Z pada kontrol sebasar 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.

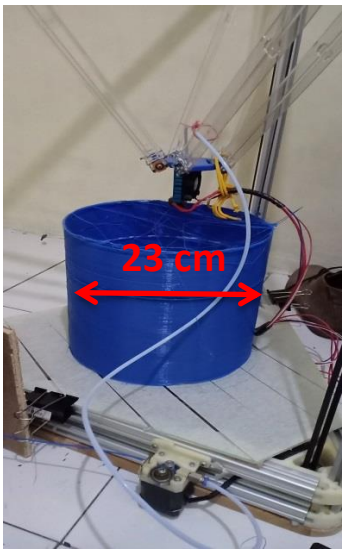


Gambar 4.21 Proses Pencetakan



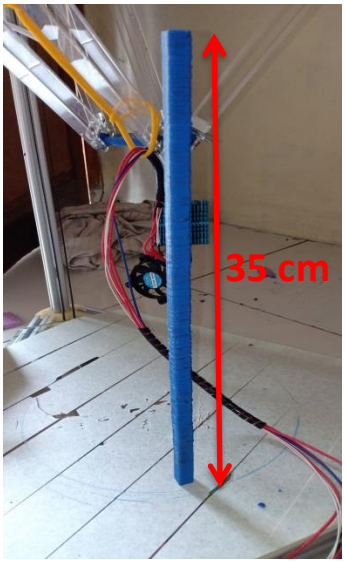
4.22 Gambar EEPROM setting

Proses kalibrasi selanjunya mengatur *working space* dan tinggi dari hasil pencetakan sebagai parameter hasil pencetakan dan juga sebagai nilai max seberapa besar alat bisa mencetak produk. Pada menu *printer shape* yang terdapat pada *software Repetier Host* dengan mengubah nilai *printable radius* menjadi 230 mm dan *printable hight* menjadi 350 mm sehingga alat bisa mencetak produk dengan sesuai nilai yang ada pada *printer shape.*



Gambar 4.23 Hasil Pencetakan 1

Hasil pengujian untuk mengetahui *working space* yang mampu dihasilkan 3D *Printing* Delta yaitu 23 cm dengan waktu 9 jam .

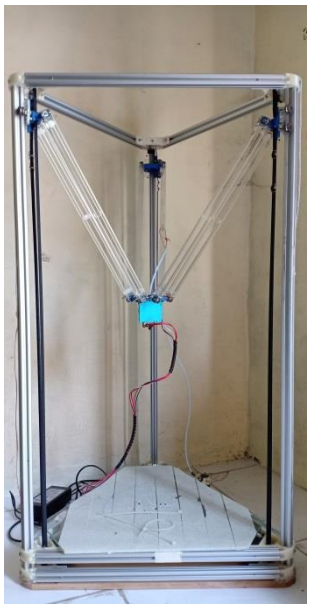


Gambar 4.24 Hasil Pencetakan 2

Hasil pencetakan merupakan hasil akhir dari pengujian, dengan kriteria alat mampu menghasilkan produk dengan tinggi 35 cm sesuai dengan permasalahan di *3D Printing* delta. Produk yang dihasilkan sesuai dengan pola desain yang di input, *extruder* mengahasilkan produk sesuai *gcode* yang di input tanpa cacat.

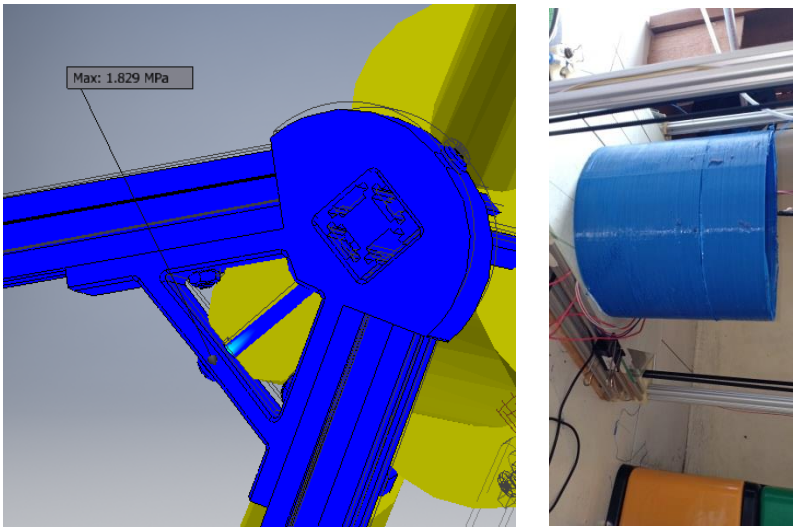
4.5 Analisis dan Pembahasan

Proses pengujian yang telah dilakukan merupakan pengaplikasian alat *3D Printing* tipe Delta dimensi 46 x 46 x 100 cm. Pengujian tersebut dilakukan dalam beberapa tahapan mulai dari pengujian kekuatan bahan, kalibrasi alat, hingga proses pencetakan. Hasil yang didapatkan pada proses pengujian adalah *3D Printing* tipe Delta tersebut mampu membentuk produk sesuai desain *3D Printing* tipe Delta yang diperbesar menjadi *working space* 23 cm dan tinggi 35 cm yang sebelumnya *working space* 20 cmdan tinggi 20 cm dan produk sesuai dengan desain yang i*nput* melalui *software* Repetier Host, tanpa kegagalan akibat dimensi besar dan pergerakan xy yang tidak pada koordinatnya. Menggunakan material sesuai dengan konsep desain, berupa material akrilik dan PLA 1.75 sebagai *filament* dan Alumunium *Profil*e T sebagai rangka batang komponen utama.



Gambar 4.25 Model 3D Printing Delta

Perbaikan ini dibentuk berdasarkan permasalahan dimensi yang kecil pada alat sebelumnya. Analisis statis menggunakan inventor menunjukan Kekuatan material 3D *Printing* Delta aman digunakan walaupun dimensi diperbesar dengan material yang lebih murah, mudah didapatkan dan 3D *Printing* Delta dapat membuat hasil produk yang sesuai dengan tujuan. Dapat ditunjukkan pada gambar 4.22 berikut ini.



Gambar 4.26 Hasil Analisis

Hasil analisis menunjukan max Von Mises terjadi pada dudukan bearing atas dan nilainya 1.829 Mpa masih aman karena spesifikasi dari baut dudukan bearing nilainya 689 Mpa sehingga dengan material yang digunakan untuk perancangan 3D *Printin*g Delta ukuran 46 x 46 x 100 cm aman digunakan dengan melihat hasil analisis. Perancangan 3D *Printing* Delta mendapatkan hasil yang diinginkan yaitu bisa membuat produk ukuran *working space* 23 cm dan tinggi 35 cm.

Pembuatan Mesin *3D Printing* tipe delta berukuran 46 x 46 x 100 cm terdapat kelebihan dan kekurangan, adapun kelebihan yang dapat diketahui sebagai berikut:

1. Produk yang dihasilkan menjadi lebih besar dari segi *working space* dan juga tinggi.
2. Hasil analisa yang menunjukan kekuatan bahan aman untuk digunakan .
3. *Maintenance* 3D Printing Delta dapat lebih murah dari segi biaya dan penggantian walaupun dengan ukuran besar, karena menggunakan material yang mudah ditemukan dan juga harga terjangkau dengan total *cost* produksi.

Tabel 4-5 Total *cost* pembuatan rangka 3D Printing

No	Jenis	Satuan	Biaya (Rp)
1	Bahan Akrilik	Lembar	**Rp40.000,00**
2	Jasa Potong akrilik	3000/menit @ 8	**Rp24.000,00**
3	Pemakaian *Bearing*	36 pcs	**Rp342.000,00**
4	Pemakaian Baut dan Mur	pcs	**Rp6.900,00**
5	Pemakaian PLA	gr	**Rp13.013,00**
6	Alumunium Profil T	7 m	**Rp350.000,00**
7	Bed	45 cm	**Rp45.000,00**
Total			**Rp820.923,00**

Adapun kekurangan desain pada mesin *3D Printing* tipe delta berukuran 46 x 46 x 100 cm yang dapat diketahui sebagai berikut:

1. Proses waktu yang lebih lama untuk melepaskan sambungan dari effector, karena sambungan didesain menggunakan buat dan mur sebagai pengunci. Sehingga memperlambat proses kalibrasi *length* dari axis Z. Jika dibandingkan pada alat sebelumnya hanya menggunakan penghubung.
2. Ukuran yang lebih besar membutuhkan mekanik yang lebih rigid dan juga kuat. Sehingga ketika tidak terjadi getaran saat sedang mencetak yang bisa mengubah gerakan nozel dan akan menghasilkan ukuran yang tidak akurat.

.