

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN MESIN FDM 3D PRINTER DENGAN
METODE QFD (*QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT*)
UNTUK PENGGUNA SETINGKAT PELAJAR SMP**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin



Oleh

Kit Nada

NIM: 18.10.002.21201.030

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA BARAT
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

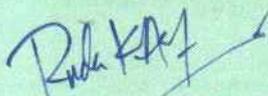
**RANCANG BANGUN MESIN 3D PRINTING FDM DENGAN METODE
QFD (QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT) UNTUK PENGGUNA
SETINGKAT PELAJAR SMP**

Oleh

KIT NADA
181000221201030

Disetujui oleh:

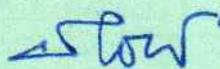
Dosen Pembimbing I



Rudi Kurniawan Arief, S.T., M.T., Ph.D

NIDN: 1023068103

Dosen Pembimbing II



Herris Yamashika, S.T., M.T

NIDN: 1024038202

Diketahui oleh:

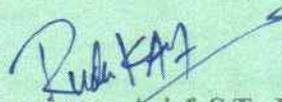
Dekan Fakultas Teknik
UM Sumatera Barat



Masril, S.T., M.T.

NIDN: 1023068103

Ketua Program Studi
Teknik mesin



Rudi Kurniawan Arief, S.T., M.T., Ph.D

NIDN: 1023068103

LEMBARAN PERSETUJUAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah dipertahankan dan disempurnakan berdasarkan masukan dan koreksi Tim Penguji pada ujian tertutup tanggal 31 Agustus 2022 di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Bukittinggi, 31 Agustus 2022

Mahasiswa,



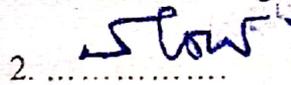
181000221201030

Disetujui Tim Penguji Skripsi tanggal 31 Agustus 2022:

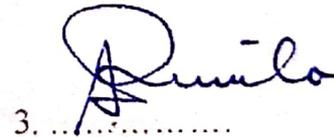
1. Rudi Kurniawan Arief, S.T., M.T., Ph.D

1. 

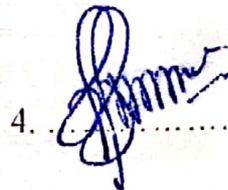
2. Heris Yamashika, S.T., M.T.

2. 

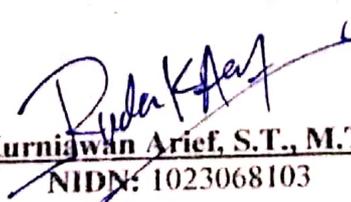
3. Arnila, S.T., M.T.

3. 

4. Muchlisinalahuddin, S.T., M.T.

4. 

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Mesin,


Rudi Kurniawan Arief, S.T., M.T., Ph.D
NIDN: 1023068103

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Kit Nada
Tempat dan tanggal Lahir : Agam, 10 Juli 1998
NIM : 181000221201030
Judul Skripsi : Rancang Bangun Mesin FDM 3D Printer dengan Metode QFD (*Quality Function Deployment*) untuk Pengguna Setingkat Pelajar SMP

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan Skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan yang tercantum sebagai bagian dari Skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di UM Sumatera Barat.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Bukittinggi, 31 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan



Kit Nada

181000221201030

Abstrak

Teknologi 3D printer adalah salah satu teknologi yang sekarang banyak digunakan dan dimanfaatkan diberbagai bidang. Diluar negara sudah berkembang teknologi canggih seperti mesin 3D printer yang sudah diperkenalkan mulai pada anak-anak sampai orang dewasa sejak lama. Sedangkan di Indonesia baru dikenalkan beberapa tahun belakangan ini. Penelitian ini bertujuan untuk membuat rancangan dari mesin FDM 3D printer yang sesuai untuk edukasi dini pelajar setingkat SMP sebagai perkenalan teknologi Revolusi Industri 4.0. Dalam penelitian ini digunakan metode QFD untuk menghasilkan rancangan desain yang sesuai dengan kebutuhan pelanggan. Hasil desain mesin FDM 3D printer ini memiliki model *gantry* dengan biaya produksi yang 50% lebih rendah dan bobotnya 50% lebih ringan dari tipe mesin serupa lainnya.

Kata kunci: *Mesin 3D Printer, FDM, QFD, Prototyping, 3D Printing*



Abstract

The 3D printer technology is one of the technologies that is now widely used and utilized in various fields. Outside the country, advanced technologies have developed such as 3D printer machines that have been introduced from children to adults for a long time. Meanwhile, in Indonesia, it has only been introduced in recent years. This study aims to make a design of the FDM 3D printer machine that is suitable for early education of junior high school level students as an introduction to the technology of the Industrial Revolution 4.0. In this study, the QFD method was used to produce a design that suits customer needs. The result design of this FDM 3D printer machine has a gantry model with a production cost that is 50% lower and its weight is 50% lighter than other similar machine types.

Keywords: 3D Printer Machine, FDM, QFD, Prototyping, 3D Printing



KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala berkat yang telah diberikan-Nya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi ini merupakan salah satu kewajiban yang harus diselesaikan untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesindi Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat (UM Sumatera Barat).

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak, Skripsi ini tidak akan dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan skripsi ini, yaitu kepada:

1. Orang tua, kakak, dan adik serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan moril, doa, dan kasih sayang;
2. Bapak Masril, S.T.,M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
3. Bapak Hariyadi, M.Kom, selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
4. Bapak Rudi Kurniawan Arief, S.,T, M.T.,PH.D selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin, Dosen Pembimbing Akademik, dan Dosen Pembimbing I skripsi yang telah memberikan bimbingan dan banyak memberikan masukan kepada penulis
5. Bapak Harris Yamashika, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing II skripsi yang telah memberikan bimbingan dan banyak memberikan masukan kepada penulis;
6. Bapak/Ibu Tenaga Kependidikan Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
7. Rekan-rekan Resimen Mahasiswa Bataliyon 109 Mahadharna yang telah memberikan motivasi dan semangat dalam mengerjakan skripsi ini.
8. Semua pihak yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa mungkin masih terdapat banyak kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, saran dari pembaca akan sangat bermanfaat bagi penulis. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya, khususnya mahasiswa teknik mesin.

Bukittinggi, 31 Agustus 2022

Penulis

Kit Nada



DAFTAR ISI

| | |
|--|------------|
| HALAMAN JUDUL | |
| HALAMAN PENGESAHAN | |
| LEMBAR PERSETUJUAN TIM PENGUJI | |
| ABSTRAK | |
| ABSTRAK | |
| KATA PENGANTAR..... | i |
| DAFTAR ISI..... | iii |
| DAFTAR GAMBAR..... | iv |
| DAFTAR TABEL | vi |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.3 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.4 Sistematika Penulisan..... | 2 |
| BAB II Landasan Teori | |
| 2.1 Mesin 3D Printer..... | 4 |
| 2.2 Jenis-jenis Tipe Mesin 3D Printer | |
| 2.2.1 <i>Selective Laser Sintering/SLS</i> | 5 |
| 2.2.2 Pemodelan Deposisi Menyatu/ <i>Fused Deposition Modeling (FDM)</i> | 6 |
| 2.2.3 <i>Stereolithography/SLA</i> | 7 |
| 2.2.4 Pembuatan Objek Laminasi | 8 |
| 2.3 Proses 3D Printing | 9 |
| 2.4 Jenis <i>Filament 3D Printer</i> | 11 |
| 2.5 Dasar Perancangan | 13 |
| 2.5.1 Konsep Racangan | 14 |
| 2.6 Metode QFD (<i>QualityFunction Deployment</i>) | 14 |
| 2.7 <i>Software CAD (Computer Aided Design) Solidworks</i> | 18 |

| | |
|--|-----------|
| BAB III Metodologi Penelitian | |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian | 19 |
| 3.2 <i>Leteraure Review</i> | 20 |
| 3.3 Perancangan dengan QFD | 20 |
| 3.4 <i>Design Alat</i> | 20 |
| 3.5 Alat dan Bahan | 21 |
| 3.6 Pembuatan Alat | |
| 3.6.1 Pembuatan Rangka | 22 |
| 3.6.2 Pembuatan Komponen | 23 |
| 3.7 Perakitan Alat | 23 |
| 3.8 Pengujian Hasil | 27 |
| | |
| BAB IV Data dan Analisa | |
| 4.1 Data Perancangan | |
| 4.1.1 Perancangan dengan Metode QFD | 28 |
| 4.1.2 Hasil Desain Alat | 34 |
| 4.2 Verifikasi Hasil Perancangan dengan Metode QFD | 35 |
| 4.3 Pengujian Alat | 37 |
| | |
| BAB V Penutup | |
| 5.1 Keimpulan | 38 |
| 5.2 Saran | 38 |
| | |
| DAFTAR PUSTAKA | 39 |
| LAMPIRAN..... | 41 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Skema proses kerja <i>selective laser sintering/SLS</i> | 5 |
| Gambar 2.2 Skema proses <i>fused deposition modeling/FDM</i> | 7 |
| Gambar 2.3 Skema <i>stereolithography/SLA</i> | 8 |
| Gambar 2.4 <i>Laminated Object Manufacturing/LOM</i> | 9 |
| Gambar 2.5 Model tahapan QFD | 15 |
| Gambar 2.6 <i>House of Quality Matrix</i> | 16 |
| Gambar 2.7 Bentuk logo aplikasi solidworks | 18 |
| Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> penelitian..... | 19 |
| Gambar 3.2 Desain mesin FDM 3d <i>printer</i> | 20 |
| Gambar 3.3 Tampak depan, samping, dan belakang..... | 21 |
| Gambar 3.4 <i>Filament PLA (Poly Lactic Acid)</i> | 21 |
| Gambar 3.5 Aluminium <i>profile</i> 6063 | 21 |
| Gambar 3.6 Lembar akrilik | 22 |
| Gambar 3.7 Aluminium <i>profile</i> dengan sambung segitiga..... | 22 |
| Gambar 3.8 Pembuatan komponen pendukung | 23 |
| Gambar 3.9 <i>Prototype</i> rangka FDM 3D <i>printer</i> | 24 |
| Gambar 3.10 Pemasangan <i>bed set</i> | 24 |
| Gambar 3.11 Batang sumbu Y sebagai jalur gerak <i>nozzle</i> | 25 |
| Gambar 3.12 Pemasangan <i>nozzle set</i> | 25 |
| Gambar 3.13 Pemasangan step motor sumbu X dan Y | 26 |
| Gambar 3.14 Pemasangan batang rel spiral dan step motor..... | 26 |
| Gambar 3.15 Tampilan secara keseluruhan setelah perangkaian. | 27 |
| Gambar 4.1 QFD tahap 1 | 29 |
| Gambar 4.2 QFD tahap 3 | 31 |
| Gambar 4.3 QFD tahap 4 | 31 |
| Gambar 4.4 QFD tahap 5 | 32 |
| Gambar 4.5 Home-QFD | 33 |
| Gambar 4.6 Desain rangka inti 3D <i>printer</i> | 34 |
| Gambar 4.7 Gambar desain isometrik | 35 |

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Abad 21 dikenal sebagai abad yang membawa banyak pengaruh kehidupan dengan adanya perkembangan teknologi. Banyak negara maju yang terus mengembangkan berbagai jenis teknologi. Teknologi 3D *printer* adalah salah satu teknologi yang sekarang banyak digunakan dan dimanfaatkan diberbagai bidang, mulai dari aplikasi teknik, medis, *fashion* maupun mainan. Teknologi ini pada beberapa negara maju telah dikenalkan sejak usia dini melalui kegiatan sekolah. Sementara itu, di Indonesia sendiri teknologi 3D *printing* baru dikenal selama beberapa tahun belakangan ini. Teknologi ini pun baru dikenalkan hanya pada pendidikan tinggi dan belum dikenalkan pada anak-anak, serta hanya dioperasikan oleh orang dewasa. Padahal teknologi ini bisa dimanfaatkan untuk membuat mainan dan *action figure*. Lambatnya pengenalan terhadap teknologi ini dikarenakan masih tingginya harga 3D *printer* yang aman dan layak untuk diperkenalkan kepada anak-anak. Walaupun sudah banyak beredar 3D *printer* dengan harga yang *relative* terjangkau, namun sebagian besar dari *printer* ini masih terlalu rumit untuk dapat dioperasikan oleh anak-anak dan minim dalam segi keamanannya.

Namun disisi lain, teknologi ini dapat diperkenalkan kepada anak-anak sebagai salah satu kegiatan edukasi teknologi, sebagaimana negara-negara di Benua Amerika dan beberapa negara di Benua Eropa lainnya. Dan sangat disayangkan sekali jika di Indonesia pengenalan teknologi ini belum dilakukan kepada anak-anak. Hal ini dikarenakan harga mesin 3D *printing* masih cukup mahal dan pengoperasiannya cukup rumit bagi anak-anak. Maka dari itu dibutuhkan teknologi 3D *printing* yang mudah dioperasikan secara aman oleh anak-anak dengan harga yang terjangkau. Riset ini bertujuan untuk mendapatkan kebutuhan tersebut sehingga teknologi ini mudah dikenalkan kepada anak-anak sejak usia sedini mungkin sehingga dapat menghasilkan generasi bangsa yang berwawasan teknologi dan meningkatkan kreativitas serta inovasitas putra-putri Bangsa Indonesia.

Dari penjelasan di atas maka penulis memberi judul pada penelitian ini dengan: **“Rancang Bangun Mesin 3D Printing FDM dengan Metode QFD (Quality Function Deployment) untuk Pengguna Setingkat Pelajar SMP”**.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat rancangan dari mesin FDM 3D *printer* yang sesuai untuk edukasi dini pelajar setingkat SMP sebagai pengenalan teknologi Revolusi Industri 4.0. Adapun manfaat dari penelitian ini adalah memotivasi kalangan muda untuk berkreasi dan berinovasi dalam keikutsertaan kemajuan teknologi Revolusi Industri 4.0.

1.3 Batasan Masalah

Batasan dari masalah dari penelitian ini adalah rancangan kerangka mekanik 3D *printing* FDM (*Fused Deposition Modelling*) dengan ketentuan sebagai berikut:

- a. Menggunakan sistem pergerakan *Cartesian*.
- b. Ukuran *printing* maksimal (200 X 300) mm.
- c. Hanya membuat komponen-komponen mekanikal saja.

1.4 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan hal-hal yang akan menjadi dasar latar belakang penulisan, tujuan penulis, dan batasan masalah.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini akan dibahas tentang dasar teori-teori yang berkaitan dengan perancangan rangka mekanik mesin 3D *printing* yang berbasis FDM (*Fused Deposition Modelling*) dengan metode QFD.

BAB III METODOLOGI PERANCANGAN

Dalam bab ini akan dibahas tentang diagram aliran langkah pengerjaan penelitian dimulai dari rancangan *design* rangka, alat dan bahan yang digunakan, serta langkah lanjutan proses pengerjaan alat.

BAB IV DATA DAN ALASAN

Pada bab ini akan berisikan tentang proses pengambilan data, data yang diambil dan analisa data.

BAB V PENUTUP

Bab ini merupakan bab penutup yang berisikan tentang kesimpulan dan saran dari apa yang telah di bahas lebih lanjut dalam penulisan tugas akhir.



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Mesin 3D Printer

Mesin 3D *printer* merupakan suatu mesin pembuat benda padat tiga dimensi dari sebuah desain secara digital menjadi bentuk 3D yang dapat dilihat dan diraba serta memiliki volume [1]. Konsep awal mesin 3D *printer* ini diciptakan oleh seseorang dari Jepang bernama Dr. Hideo Kodama tahun 1981, namun penemuannya gagal dipatenkan karena kekurangan fasilitas dan masalah keuangan. Kemudian dilanjutkan dan dikembangkan ide beliau ini oleh 3 orang dari Prancis yakni Jean-Claude André, Olivier de Witte, dan Alain le Méhauté pada tahun 1984. Sayangnya hal yang sama terjadi, gagal juga dipatenkan karena masalah kekurangan biaya.

Pada tahun yang sama metode pembentukan lapis resin pertama ditemukan oleh Charles Chuck Hull, seorang pekerja diperusahaan furnitur yang kebingungan dengan pembuatan dari bagian terkecil dalam proses furnitur tersebut. Beliau pun difasilitasi oleh perusahaannya untuk menyelesaikan proyeknya kurang waktu 3 minggu. Dan beliau berhasil membuat teknologi canggih pertama buatan sendiri yang diberi nama *Steolithography/SLA*. Karena hal ini Hull mendirikan perusahaan di Valencia California sekaligus dipatenkan pada tahun 1986. SLA-1 tahun 1988 menjadi produk komersial pertama dari perusahaan Hull. Sebab hal ini Chuck Hull diberi gelar "*The Father of 3D Printing*". Setelah itu banyak perkembangan jenis 3D *printer* di dunia. Namun di Indonesia baru sejarah lahirnya mesin 3D *printer* ini terjadi pada tahun 2010-2013.

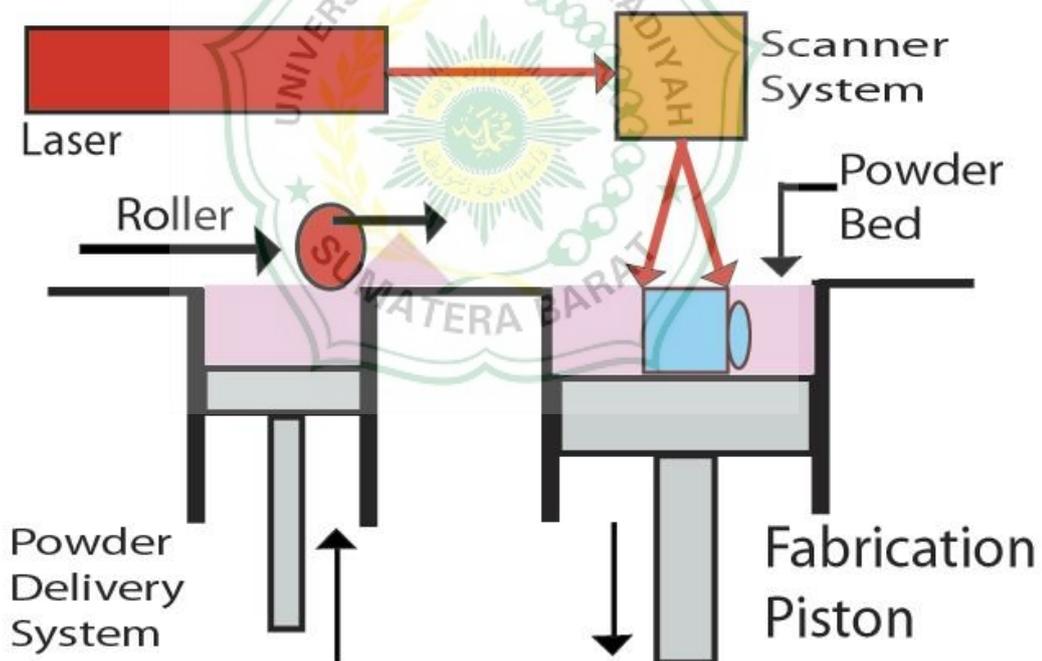
2.2 Jenis-Jenis Tipe Mesin 3D Printer

Mesin 3D *printer* pada dasarnya memiliki beberapa tipe pengoperasian. Beberapa metode melelehkan atau melembutkan bahan untuk menghasilkan lapisan, misalkan *Selective Laser Melting (SLM)*, *Selective Laser Sintering (Selective Laser Sintering/SLS)*, pemodelan deposisi menyatu (FDM), sementara cara lain memadatkan bahan cair menggunakan teknologi lain yang berbeda,

misalkan *Stereolithography* (SLA) atau dengan metode *Laminated Object Manufacturing* (LOM) [2].

2.2.1 *Selective Laser Sintering/SLS*

Laser Sintering (juga dikenal sebagai LS atau SLS) membangun bagian yang kompleks langsung dari data CAD 3D melalui laser panas yang memadukan atau menyinterkan termoplastik bubuk. Mirip dengan teknologi pencetakan 3D lainnya, ini memungkinkan konsolidasi sebagian dan geometri yang kompleks, namun LS cukup unik karena menghilangkan kebutuhan akan struktur pendukung. Bagian-bagian yang dibangun dengan LS dicetak dalam serbuk serba serba guna; kelebihan serbuk mudah terguncang selama *post-processing*. Ini adalah cara yang terjangkau untuk membangun bagian produksi yang tahan lama dalam volume rendah. Aplikasi umum termasuk pekerjaan saluran, permukaan kontrol, braket, klip, klem, tangki bahan bakar dan suku cadang bersertifikasi penerbangan.



Gambar 2.1 Skema proses *selective laser sintering/SLS*

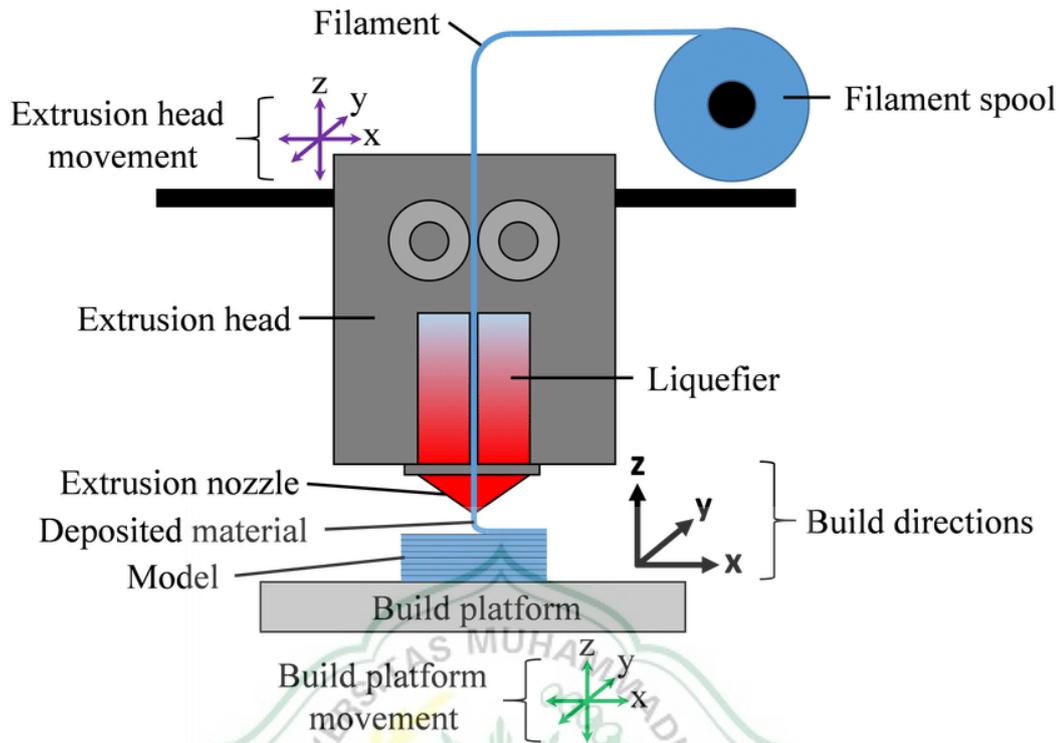
Selective laser sintering (SLS) dikembangkan dan dipatenkan oleh Dr. Carl Deckard dan penasihat akademis, Dr. Joe Beaman di University of Texas pada pertengahan 1980, dibawah sponsor DARPA. Sintering laser selektif adalah teknik pencetakan 3D yang menggunakan laser sebagai sumber daya untuk

menyinter bahan bubuk (kebanyakan logam), bertujuan laser pada titik-titik dalam ruang yang ditentukan oleh model 3D, mengikat bahan untuk membuat struktur yang solid.

Peleburan laser selektif menggunakan konsep yang sebanding, tetapi dalam SLM bahan sepenuhnya meleleh daripada disinter, memungkinkan sifat yang berbeda (struktur kristal, porositas). SLS adalah teknologi yang relatif baru yang sejauh ini terutama telah digunakan untuk pembuatan aditif dan untuk produksi suku cadang dalam volume rendah [2].

2.2.2 Pemodelan Deposisi Menyatu/*Fused Deposition Modeling* (FDM)

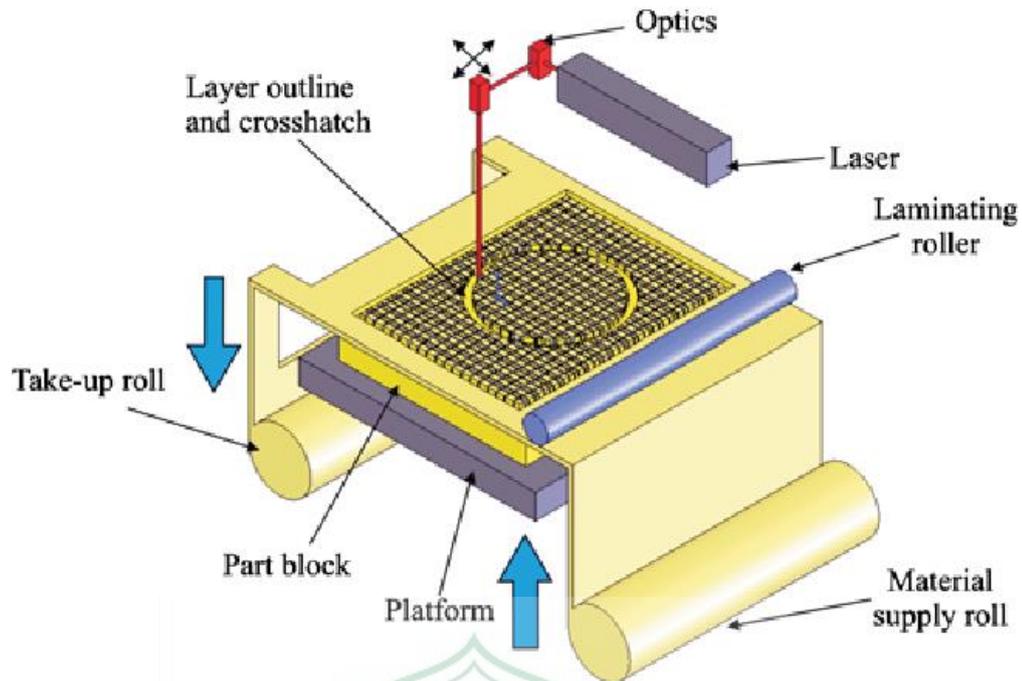
Metode *Fused deposition modelling* (FDM) dikembangkan oleh S. Scott Crump pada akhir 1980-an dan dirancang pada 1990 oleh Stratasys. Setelah paten pada teknologi ini berakhir, sebuah komunitas pengembangan sumber terbuka lebar untuk dikembangkan dan varian komersial yang menggunakan jenis *printer* 3D ini bermunculan. Akibatnya, harga teknologi FDM telah turun dua kali lipat sejak penciptaannya. Dalam teknik ini, model diproduksi dengan mengekstrusi manik-manik kecil dari bahan yang mengeras untuk membentuk lapisan. Sebuah filamen atau kawat termoplastik yang dililitkan ke koil tidak dapat dilepas untuk memasok material ke *head nozzle* ekstrusi. Kepala *nozzle* memanaskan material hingga suhu tertentu dan menghidupkan dan mematikan aliran. Biasanya motor *stepper* digunakan untuk menggerakkan *head* ekstrusi dalam arah z dan menyesuaikan aliran sesuai dengan kebutuhan. *Head nozzle* dapat dipindahkan dalam arah horisontal dan vertikal, dan kontrol mekanisme dilakukan oleh paket perangkat lunak *computer-aided manufacturing* (CAM) berjalan pada mikrokontroler. Proses *Fused Deposition Modeling* (FDM) yang digunakan sedang dalam proses tambahan. Ini adalah salah satu dari beberapa proses aditif seperti *Stereo lithography* (SL), *Selective Laser Sintering* (SLS), dll. Manufaktur aditif mengikuti komponen konstruksi produk dengan penambahan bahan tambahan.



Gambar 2.2 Skema proses *fused deposition modeling*/FDM

2.2.3 Stereolithography/SLA

Stereolithography adalah teknologi pencetakan 3D awal dan banyak digunakan. Pencetakan 3D diciptakan dengan maksud memungkinkan para insinyur untuk membuat *prototipe* desain mereka sendiri dalam waktu yang lebih lama dan secara efektif. Teknologi ini pertama kali muncul pada awal tahun 1970. Dr. Hideo Kodama Peneliti Jepang pertama kali menemukan pendekatan berlapis modern untuk *stereolithography* dengan menggunakan sinar UV untuk menyembuhkan polimer fotosensitif. Pada Juli 1984, sebelum Chuck Hull mengajukan patennya sendiri dan Alain Le Mehaute mengajukan paten untuk proses stereolithografi. Aplikasi paten penemu Prancis diabaikan oleh *French General Electric Company* dan oleh CILAS (*The Laser Consortium*). Le Mehaute percaya bahwa pengabaian mencerminkan masalah dengan inovasi di Prancis. Stereolithografi adalah bentuk teknologi cetak 3-D yang digunakan untuk membuat model, prototipe, pola dalam mode lapis demi lapis menggunakan polimerisasi foto, suatu proses di mana cahaya menyebabkan rantai molekul



Gambar 2.4 *Laminated object manufacturing/LOM*

2.3 Proses 3D Printing

Proses kerja *printer* 3d secara umum terdapat sebagai berikut:

Langkah 1

Membuat model 3D melalui *software* komputer (CAD). *Software* ini dapat memberikan petunjuk struktural kepada produk jadi, serta memberikan data ilmiah tentang bahan-bahan tertentu untuk membuat simulasi virtual bagaimana objek akan berperilaku dalam kondisi tertentu.

Langkah 2

Mengonversi gambar CAD gambar ke dalam format STL. Format ini merupakan singkatan dari *Stessellation* standar atau format *file* yang dikembangkan untuk sistem 3D pada tahun 1987 yang digunakan oleh perusahaan *stereolithography aparat* (SLA). Kebanyakan *printer* 3D dapat menggunakan *file* STL disamping beberapa jenis *file* seperti ZPR oleh Z Corporation dan OBJDF oleh objek geometri.

Langkah 3

Transfer ke dalam AM (*Additive Manufacturing*) Mesin dan STL *file* Manipulasi. Di sini adalah proses penyalinan pengguna *file* STL ke komputer yang mengendalikan *printer* 3D yang digunakan untuk menentukan ukuran dan orientasi cetakan. Hal ini sama dengan saat pembuatan *printer* 2D untuk mencetak secara *landscape* atau *portrait*.

Langkah 4

Machine setup. Setiap mesin memiliki persyaratan sendiri untuk melakukan persiapan. Tahap ini termasuk proses pengisian polimer, pengikat dan bahan habis pakai lainnya.

Langkah 5

Pencetakan. Biarkan mesin melakukan hal tersebut secara otomatis. Sebab setiap lapisan biasanya memiliki ketebalan sekitar 0,1 mm atau lebih tipis lagi. Karena sangat tipis proses ini bisa berlangsung berjam-jam atau bahkan berhari-hari. Pastikan untuk memeriksa mesin secara berkala untuk memastikan tidak ada kesalahan proses.

Langkah 6

Removal. Lepaskan objek setelah dicetak dari mesin. Pastikan dalam proses ini menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) untuk menghindari cedera. Seperti sarung tangan untuk melindungi diri dari permukaan yang panas atau bahan kimia beracun.

Langkah 7

Post processing. Banyak *printer* 3D memerlukan post processing untuk objek dicetak. Seperti menyikat bubuk yang tersisa atau mencuci objek cetak dengan air. Dalam proses ini lebih berhati-hati sebab objek cetak masih rapuh, sehingga mudah pecah dan retak.

2.4 Jenis *Filament 3D Printer*

Filament merupakan bahan dari mesin *3D Printer*, yang biasanya berbentuk silinder berdiameter 1,75 mm dan 3 mm, ada pun jenis- jenis *filament* yang terbuat dari dasar plastik sebagai berikut [3]:

A. ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*)

ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) merupakan bahan yang cenderung mudah digunakan untuk mencetak tetapi cenderung untuk menyusut dalam proses pendinginannya sehingga sedikit mempengaruhi hasil cetak. Menggunakan ABS alas cetak harus dipanaskan 70 hingga 100 derajat *celcius* dan diberi perekat

B. PLA (*Poly Lactic Acid*)

PLA (*Poly Lactic Acid*) adalahh jenis plastik polimer terbuat dari bahan yang dapat terurai atau ramah lingkungan seperti tepung jagung, tepung tapioka, atau olahan tebu. PLA dapat menghasilkan cetakan yang kuat dan sangat rapi.

C. HIPS (*High Impact Polystyrene*)

HIPS (*High Impact Polystyrene*) merupakan jenis plastik yang dapat larut dalam larutan limonene. HIPS digunakan sebagai bahan pendukung/*support* yang dapat dengan mudah dihilangkan menggunakan larutan *d-limonene oil*.

D. PVA (*Polyvinyl Alkohol*)

Merupakan *filament 3D printer* mirip dengan jenis HIPS tetapi dapat larut dalam air saja.

E. *Flexible PLA 3D*

Filament yang yang *flexible* dan elastis sehingga banyak digunakan untuk membuat model-model yang memerlukan permukaan yang elstis seperti tiruan tangan.

F. PETG (*Glycol-modified PET*)

PETG (*Glycol modified PET*) merupakan bahan plastik yang memiliki bahan dasar dari pengabungan plastik ABS dan PLA serta memiliki warna yang bening atau transparent dan kilap.

Sementara itu ada *filament* yang berbahan dasar logam. *Filament* logam untuk produksi *printing* 3D sebenarnya merupakan material termoplastik yang dicampurkan dengan sedikit logam. Dibandingkan termoplastik biasa, material ini lebih berat. Logam untuk produksi *printing* 3D antara lain perunggu, besi, tembaga, dan baja. Produk yang dibuat dari logam umumnya memerlukan proses akhir yang lebih rumit untuk menghasilkan tampilan yang diinginkan.

A. Aluminum

Aluminium memiliki karakteristik serba guna dan ringan, sehingga banyak digunakan dalam industri 3D *printing*. Bentuk produk dapat berupa lempengan tipis ataupun bentuk geometris yang kompleks. Produk dari aluminium meliputi bagian kendaraan bermotor hingga industri pesawat.

B. Nikel

Material dengan campuran nikel biasanya digunakan untuk komponen peralatan teknik. Komponen yang dibuat dari campuran nikel menggunakan teknik print 3D lebih kuat dan tahan lama dibandingkan dengan teknik casting.

C. Emas, Perak, dan Platinum

Logam mulia seperti emas, platinum, dan perak adalah material yang umumnya digunakan untuk pembuatan perhiasan, komponen elektronik, dan peralatan medis. Menggunakan teknik *printing* 3D, produk yang dihasilkan terlihat lebih indah dan tidak ada penyusutan dari bahan hingga produk jadi. Sehingga lebih menguntungkan dalam produksi, dibandingkan cara tradisional.

D. Alumide

Alumide adalah variasi dari nilon yang dikombinasikan dengan partikel aluminium. Daya tahan dan kekuatan material ini serupa dengan nilon. Perbedaannya ialah produk dari *alumide* lebih berkilau, tahan lama, dan memiliki permukaan berliang. Material ini sesuai untuk produk yang memerlukan ukuran sangat akurat, kuat, dan akan digunakan dalam jangka waktu lama.

2.5 Dasar Perancangan

Pertimbangan untuk membuat rancangan awal dari mesin FDM 3D *printer* ini diambil berdasarkan penelitian para ahli yang didapatkan dari hasil tinjauan pustaka atas beberapa jurnal yang melakukan penelitian terhadap anak-anak dan pelajar dalam pengenalan terhadap mesin ini.

Berry et. al. dalam penelitiannya mengenai pertimbangan penggunaan teknologi fabrikasi digital untuk anak-anak menyatakan bahwa harga yang murah, feature yang lengkap dan kemudahan dalam pengoperasian merupakan kunci yang mampu menjadikan teknologi ini cocok tidak hanya untuk anak-anak atau pelajar namun juga akan cocok bagi para pengajar. Anak-anak juga harus dapat mengamati proses kerja mesin *printing* dalam mewujudkan ide-ide mereka dengan leluasa, karena ini adalah pengalaman yang belum pernah sama sekali mereka alami sebelumnya [4].

Kostakis dan team penelitiannya menekankan bahwa mesin 3D *printer* ini haruslah dibuat menggunakan sistem *open-sourced* yang mencerminkan nilai-nilai kebebasan, keterbukaan dan *learning by doing* untuk masyarakat. Agar para pelajar dapat terlibat langsung dalam proses pembelajarannya maka mesin ini haruslah dibuat dengan baik namun murah, cepat dan lebih akurat [5].

Dalam sebuah risetnya, Michael Eisenberg menemukan bahwasanya beberapa tipe 3D *printer* memiliki rancangan konstruksi yang terlalu rumit bagi anak-anak. Sebuah desain yang ringan dan portable haruslah dipertimbangkan sehingga aktifitas *printing* ini dapat dilakukan dimana saja [6].

Siswa sebagai pengguna 3D *printer* ini haruslah bisa mengamati dan mengikuti dengan baik semua langkah-langkah dari proses *printing* ini agar bisa memiliki *technology engagement* yang lebih kuat [7]. Karena melibatkan sistem gerak translasi dan putaran serta adanya suhu tinggi yang dikeluarkan oleh nozzle dari mesin ini maka faktor keamanan tetap menjadi hal yang paling penting. Masa depan dari 3D *printer* haruslah bisa melayani penggunanya dengan tanpa kesalahan dari sistem, mudah untuk digunakan dan tentunya harga yang murah agar sesuai dengan budget keuangan yang selama ini menjadi permasalahan bagi umumnya institusi-institusi pendidikan [8].

2.5.1 Konsep Rancangan

Beberapa pertimbangan rancangan yang diambil dari penelitian di atas tersebut antara lain;

1. Harga yang murah [4], [5], [8].
2. Cara pengoperasian yang mudah [4], [8].
3. Proses kerja mesin bisa diamati dengan jelas [4], [7].
4. *Feature* yang lengkap [4].
5. Ringan [6].
6. Portable dan mudah dipindah lokasikan [6].
7. Sistem *open-sourced* [5].
8. Jarang terjadi *error* [8].
9. Cepat [5].
10. Akurat [5].
11. Sederhana [6].

2.6 Metode QFD (*Quality Function Deployment*)

Persyaratan rancangan suatu produk adalah rancangan yang dapat dirakit, didaur ulang, bebas dari korosi atau karat, biaya yang rendah dan dapat dimanufaktur serta dapat diperiksa hasil akhirnya. Kualitas suatu produk merupakan salah satu faktor penting dalam meningkatkan daya saing produk, selain biaya produksi dan ketepatan waktu produksi [9]. Kualitas adalah kemampuan sebuah organisasi untuk memenuhi kebutuhan *availability*, *delivery*, *reliability*, *maintainability* dan *cost effectiveness* [10]. Untuk meningkatkan kualitas produk banyak metode yang dapat digunakan, salah satu metode yang dapat digunakan adalah QFD atau *Quality Function Deployment*.

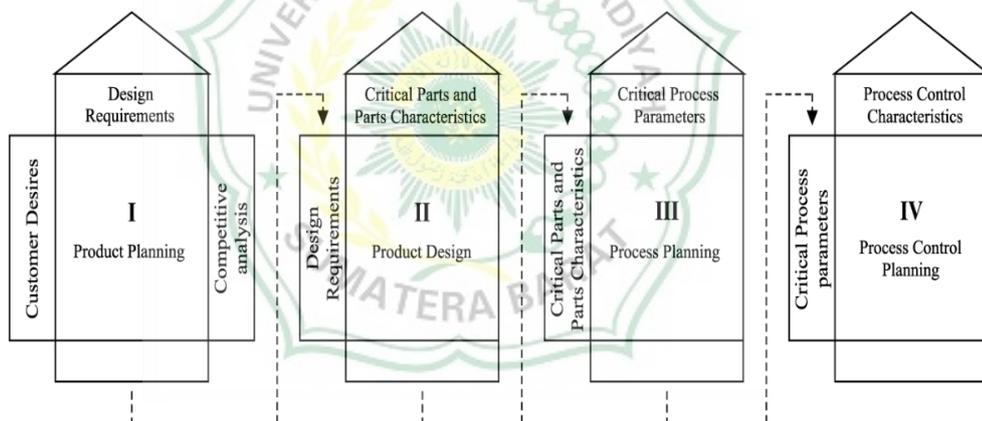
QFD adalah metode untuk mengembangkan kualitas desain yang ditujukan untuk memenuhi permintaan konsumen dan kemudian menerjemahkan permintaan konsumen menjadi target desain dan kualitas utama yang akan digunakan selama tahap produksi [11].

QFD merupakan metode atau alat bantu, guna melakukan perancangan dan pengembangan produk yang terstruktur, yang memungkinkan tim pengembangan

produk dapat mengidentifikasi keinginan dan kebutuhan *customer* dengan jelas, kemudian mengevaluasi masing-masing kemampuan produk atau kemampuan pelayanan yang ditawarkan secara sistematis guna memenuhi kebutuhan *customer* [9].

QFD adalah suatu metode perencanaan dan pengembangan produk yang terstruktur, untuk menentukan secara jelas kebutuhan konsumen yang diinginkan dan kemudian melakukan perhitungan secara sistematis, pada akhirnya menghasilkan produk yang dapat memuaskan konsumen. Secara umum dapat dikatakan bahwa QFD merupakan suatu sistem pengembangan produk mulai dari proses perancangan produk, proses pembuatan produk hingga produk tersebut diterima konsumen dan seluruhnya didasarkan atas keinginan konsumen. [12]

QFD yaitu suatu alat khusus yang mengkombinasikan dan mengonversikan keinginan konsumen ke dalam karakteristik produk dalam keseluruhan siklus dari desain produk dengan menggunakan bentuk *House of Quality* (HoQ). [13]

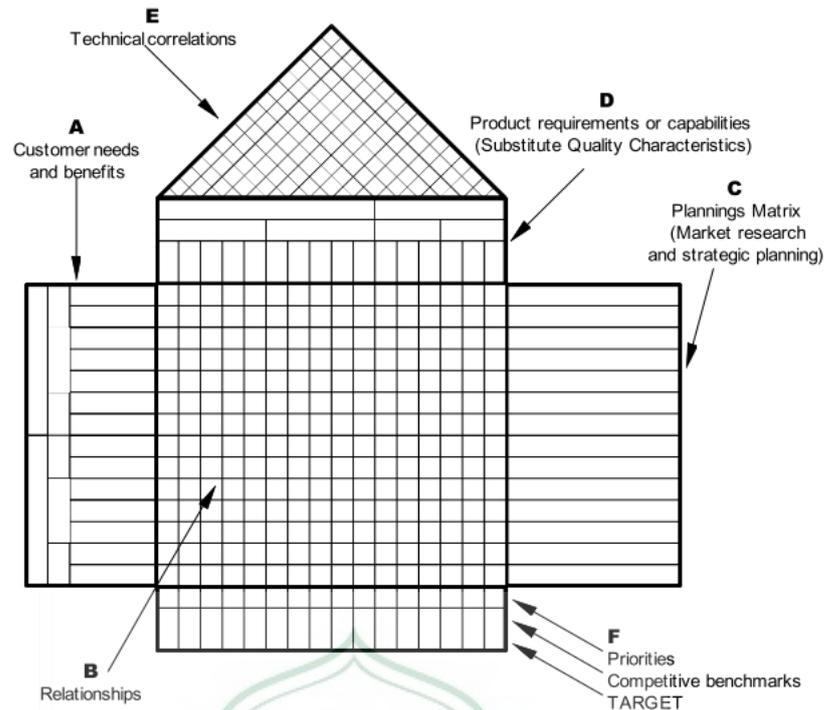


Gambar 2.5 Model tahapan QFD

Sumber: (Cohen, 1995)

Metode QFD memiliki beberapa tahap perencanaan dan pengembangan melalui matriks, yaitu: [14]

- A. Matriks Perencanaan Produk (*House of Quality*): HoQ lebih dikenal dengan rumah (R1) yang menjelaskan tentang *customer need, technical requirements, co-relationship, relationship, customer competitive evaluation, competitive technical assesment*, dan target.



Gambar 2.6 *House of Quality Matrix*

Sumber: [9]

1. Bagian A (*Customer needs*/kebutuhan dan keinginan pelanggan)
Bagian ini berisi informasi data yang didapatkan dari riset pasar tentang kebutuhan dan keinginan konsumen/pelanggan.
2. Bagian B (*Plannig matrix*)
Memuat perncangan matrix, dan sebagai penentu sasaran atau target produk berdsarkan interpretasi data riset pasar yang dilakukan.
Planning Matrix, berisi tiga jenis data, yaitu:
 - a) Tingkat kepentingan / ranking kebutuhan dan keinginan konsumen.
 - b) Data tingkat kepuasan konsumen terhadap produk yang dihasilkan oleh perusahaan dan produk pesaing.
 - c) Tujuan strategis untuk produk atau jasa baru yang akan dikembangkan.
3. Bagian C (*Technical response*)
Berisikan persyaratan-persyaratan teknis untuk produk atau jasa yang akan dikembangkan oleh pihak perusahaan. Data ini diturunkan

berdasarkan informasi yang diperoleh mengenai kebutuhan dan keinginan konsumen (matrik A). Terdapat beberapa informasi yang didapat pada persyaratan teknis, alternatif yang paling umum adalah kebutuhan produk atau jasa dan kemampuan serta fungsi produk atau jasa.

4. Bagian D (*Relationshi*)

Berisi penilaian manajemen mengenai kekuatan hubungan antara elemen-elemen yang terdapat pada bagian persyaratan teknis (Matrik C) terhadap kebutuhan konsumen (Matrik A) yang dipengaruhi. Kekuatan hubungan ditunjukkan dengan menggunakan simbol tertentu.

5. Bagian E (*Technical correlation*)

Menunjukkan korelasi antara persyaratan teknik yang satu dengan persyaratan teknik yang lain yang terdapat pada matrik C.

6. Bagian F (*Matrix requirement*)

Berisi tiga jenis data, yaitu:

- a) Urutan tingkat kepentingan (rangking) persyaratan teknis.
- b) Informasi hasil perbandingan kinerja persyaratan teknis produk yang dihasilkan oleh perusahaan terhadap kinerja produk pesaing.
- c) Target kinerja persyaratan teknis produk baru yang dikembangkan. [15]

B. Matriks Perencanaan Desain (*Design Deployment*): lebih dikenal dengan sebutan rumah kedua (R2) adalah matriks untuk mengidentifikasi desain yang kritis terhadap pengembangan produk.

C. Matriks Perencanaan Proses (*Process Planning*): lebih dikenal dengan rumah ketiga (R3) yang merupakan matriks untuk mengidentifikasi pengembangan proses pembuatan suatu produk.

D. Matriks Perencanaan Produksi (*Production Planning*): lebih dikenal dengan rumah keempat (R4) yang merupakan tindakan yang perlu diambil di dalam perbaikan produksi suatu produk.

2.7 Software CAD (Computer Aided Design) Solidworks

Tahapan proses pencetakan gambar dibuat menggunakan *software* pada *computer*, *software Computer Aided Engineering (CAD)*, melalui pemindai 3D. Pemindaian 3D merupakan proses pembentukan data digital dalam bentuk dan tampilan objek nyata menjadikan desain digital. [16]

Software yang digunakan dalam pembuatan desain penelitian ini, penulis menggunakan *Solidworks 2014*, sebagaimana logo aplikasi seperti pada gambar 2.7 dibawah.



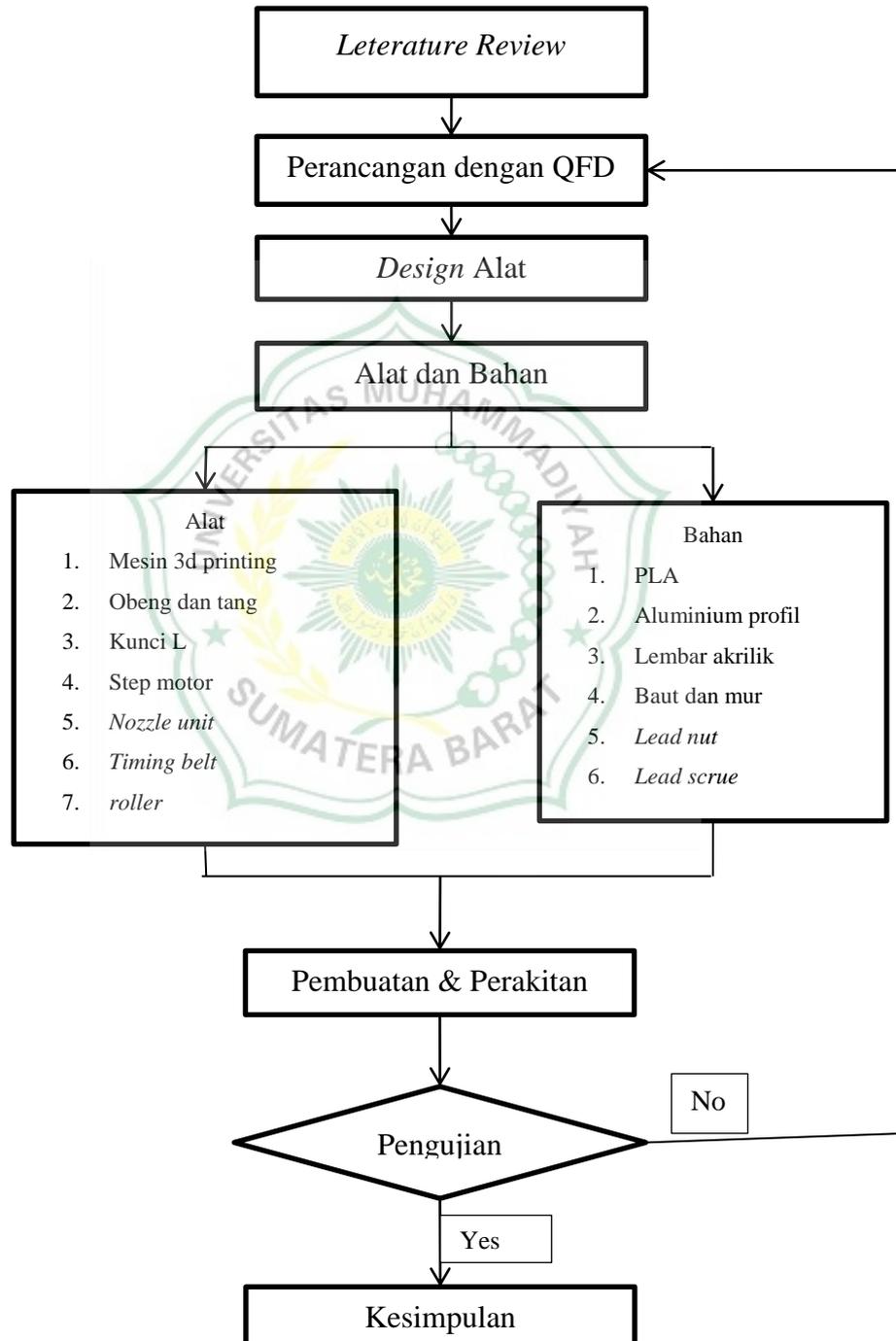
Gambar 2.7 Bentuk logo aplikasi solidworks

Solidworks merupakan suatu perangkat lunak desain modeling yang berbasis CAD (*Computer Aided Design*). *Software* ini dibuat dengan *Dassault Systemes* yang digunakan untuk merancang part permesinan atau susunan part permesinan yang berupa *assembling* dengan tampilan 3d untuk mempresentasikan part sebelum *real partnya* dibuat atau ditampilakan 2D untk gambar proses permesinan. *Solidworks* pertama kali diperkenalkan pada tahun 1995 dan didirikan pada tahun 1993 oleh Jon Hirschtick, dengan kantornya berpusat di Concord, Massaachsetts. Nama rilisan pertama produk ini adalah *solidworks 95*. Dan sampai sekarang akan segera diluncurkan *software solidorks* versi 2022.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Untuk mempermudah peneliti dalam melakukan penelitian maka dibutuhkan diagram alir penelitian, seperti yang dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah ini:



Gambar 3.1 Flowchart penelitian

3.2 *Leterature Review*

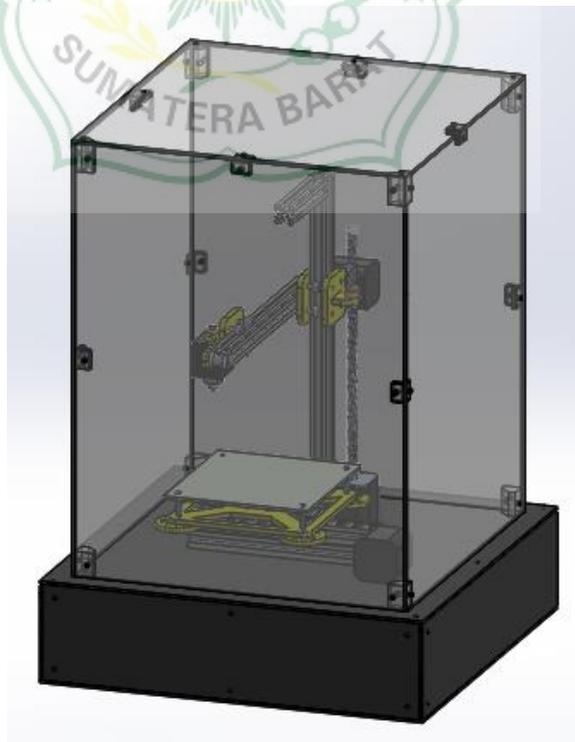
Dalam suatu penelitian dibutuhkan banyak referensi tulisan guna menambah wawasan dan pengetahuan dalam menyelesaikan penelitian dan tulisan. Referensi-referensi yang dibutuhkan ini didapat dari beberapa jurnal nasional dan internasional. Sehingga memudahkan penulis dalam menyelesaikan tulisan ini.

3.3 **Perancangan dengan QFD**

Perancangan awal dari alat ini dilakukan dengan metode QFD dan untuk mendapatkan desain detailnya agar mewakili kebutuhan dari pemakai. Setelah tahapan desain dan semua persiapan sebelumnya dilakukan, maka tahapan berikutnya yaitu perancangan dengan menyesuaikan kebutuhan konsumen yang telah diketahui oleh peneliti melalui metode QFD

3.4 *Design Alat*

Dari hasil pengolahan data QFD ini didapatkanlah suatu *design* yang sesuai dengan kebutuhan pelanggan. *Design* alat pada penelitian ini dibuat dengan bantuan salah satu *software* CAD, yaitu dengan *Solidwork* versi 2014. Gambar *design* terlihat pada gambar 3.2 di bawah.



Gambar 3.2 Desain mesin FDM 3d printer

Rangka alat mesin FDM 3D *printer* dari berbagai sisi dapat dilihat pada Gambar 3.3 dibawah ini:



Gambar 3.3 Tampak depan, samping, dan belakang

3.5 Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini iyalah menggunakan bahan berjenis PLA (*Poly Lactic Acid*) sebagai braket tambahan (gambar 3.4), aluminium (Alu 6063) sebagai rangka utama (gambar 3.5), dan akrilik untuk pelindung alat (gambar 3.6).



Gambar 3.4 Filament PLA (*Poly Lactic Acid*)



Gambar 3.5 Aluminium *profile* 6063



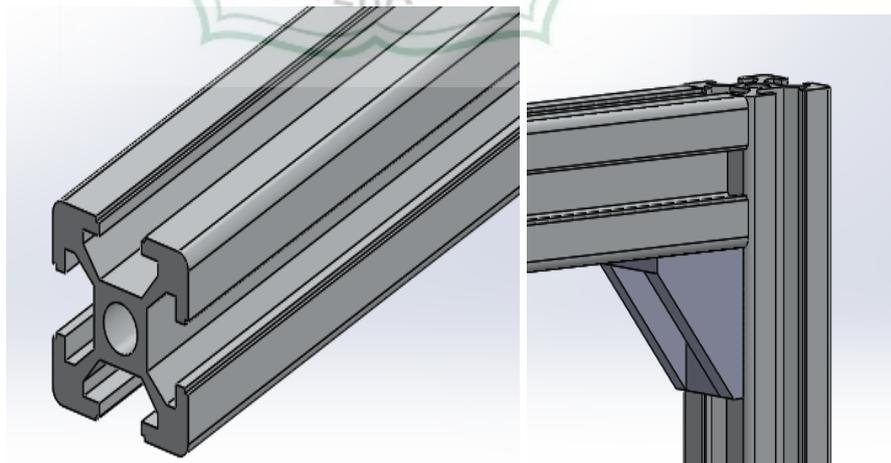
Gambar 3.6 Material akrilik.

3.6 Pembuatan Alat

Setelah didapatkan rancangan alat, selanjutnya dilakukan pembuatan beberapa komponen alat pendukung dengan mesin *3D printer* yang sudah dimiliki sebelumnya. Perakitan atau *assembling* alat dilakukan sebagai finalisasi proses.

3.6.1 Pembuatan Rangka

Rangka alat dibuat dari aluminium *profile* yang dipotong sesuai dengan kebutuhan dan disambungkan dengan segitiga penyangga.

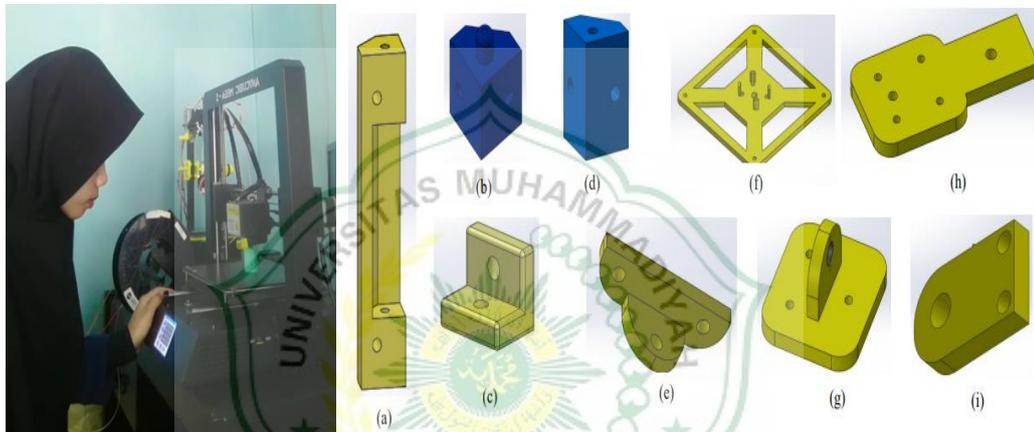


Gambar 3.7 Aluminium *profile* dengan sambung segitiga

3.6.2 Pembuatan Komponen

Komponen terdiri dari batang aluminium *profile* sebagai batang penyangga dan sebagai rel sumbu X,Y dan Z, serta sebagai *framenya*. *Bed set* terbuat dari lembar akrilik, step motor pada setiap sumbunya, serangkaian *nozzle set*, sistem kontrol dan rangkaian elektrikal lainnya.

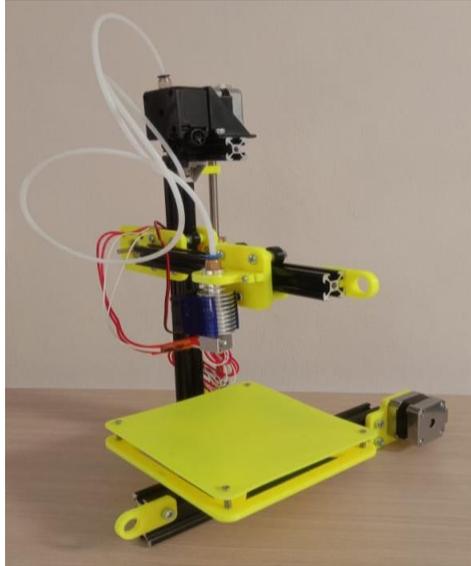
Braket pendukung dibuat dengan proses *3D printing* menggunakan material PLA. Guna braket tersebut adalah sebagai sambungan material yang satu dengan material lainnya. Contoh bentuk braket dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Pembuatan komponen pendukung (penyambung sudut box bawah(a), penyambung bawah sudut box atas(b), penyangga tengah box(c), penyambung atas box atas(d), perekat step motor sb Z(e), penahan bed(f), penahan *nozzle set*(g), penyambung batang *rell* sb Y(h), perekat step motor sb X(i))

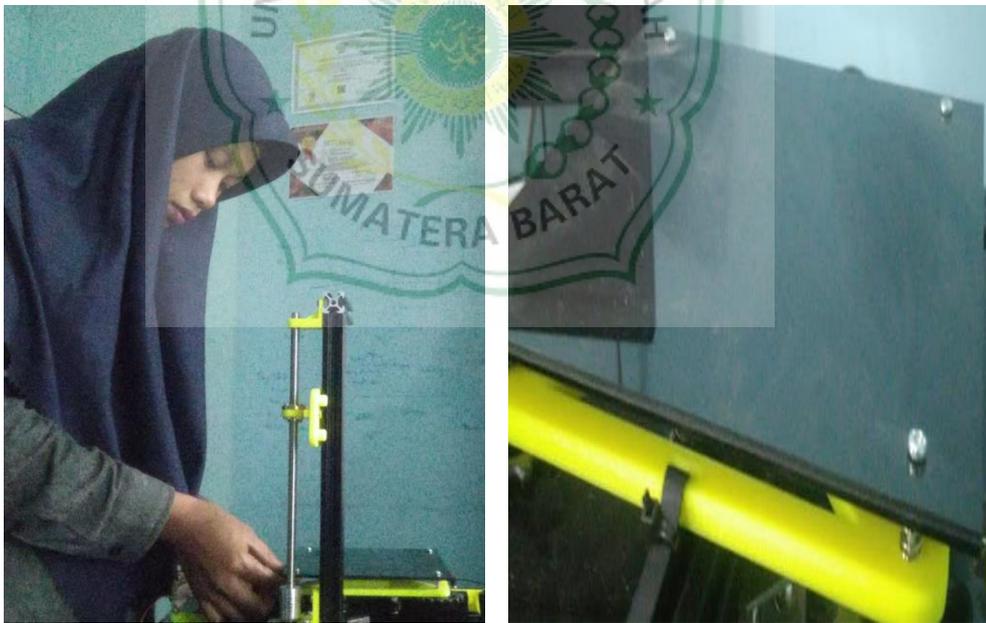
3.7 Perakitan Alat

Pembuatan awal rangka yaitu dengan pemasangan batang aluminium profil sebagai rangka horizontal dan vertikal dengan sambungan segitiga siku. Seperti pada Gambar 3.9



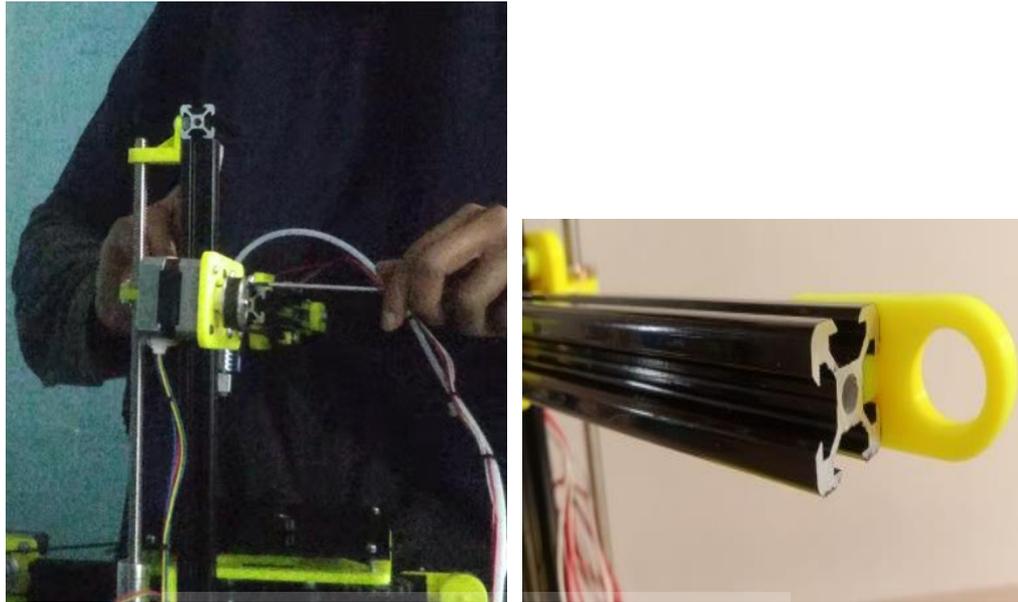
Gambar 3.9 *Prototype* rangka FDM 3D printer

Awal perangkaian yang dilakukan yaitu ragkaiian rangka utama aluminium profil yang disambung dengan siku penyambung. Setelah batang rangka horizontal dan vertikal terpasang dengan benar selanjutnya pemasangan *bed set*. Dapat dilihat pada Gambar 3.10.



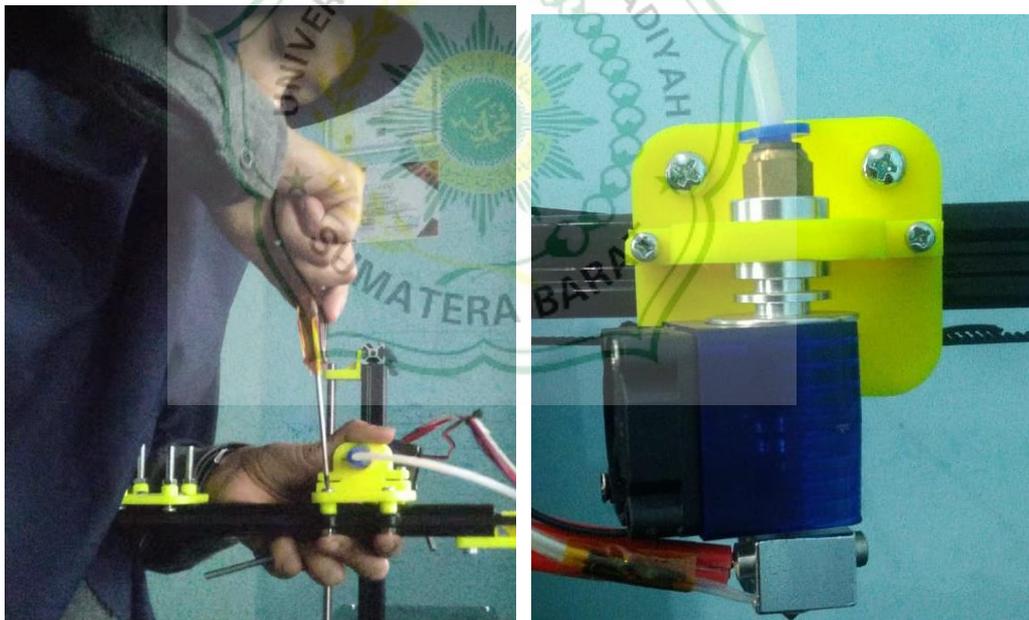
Gambar 3.10 Pemasangan *bed set*

Barulah kemudian pemasangan batang aluminium profil sebagai jalur *nozzle set*, dengan tambahan *bracket* untuk penahan agar terpasang kokoh. Seperti Gambar 3.11 dibawah



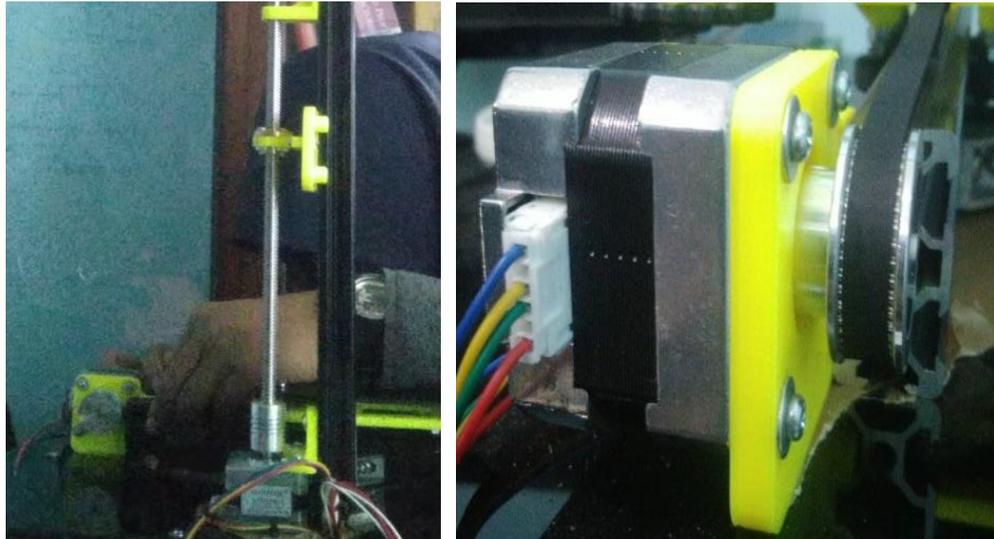
Gambar 3.11 Batang sumbu Y sebagai jalur gerak *nozzle*

Dan barulah pemasangan *nozzle set*, dengan menggunakan komponen pendukung dibawah seperti pada Gambar 3.12



Gambar 3.12 Pemasangan *nozzle set*

Kemudian pemasangan *step* motor sebagai motor penggerak pada setiap sumbunya, yaitu sumbu X,Y dan Z, sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3.13



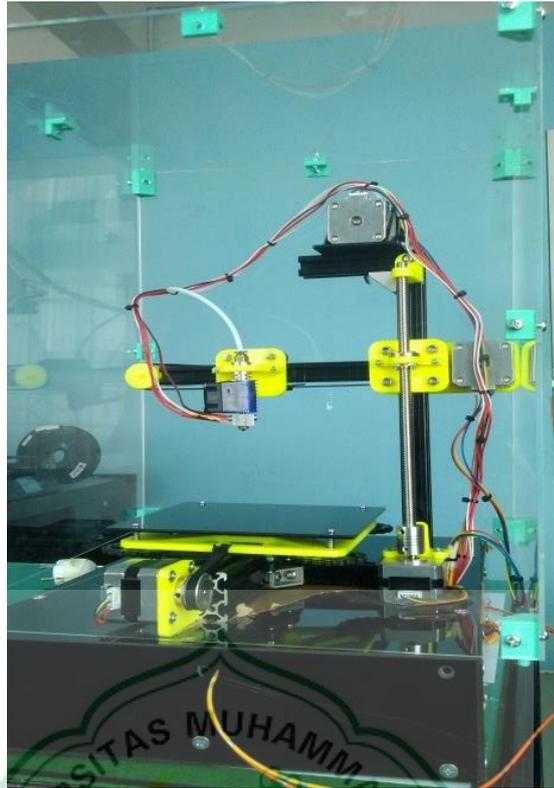
Gambar 3.13 Pemasangan step motor sumbu X dan Y

Setelah itu baru dilakukan pemasangan batang spiral beserta dengan pemasangan step motor untuk sumbu Z (Gambar 3.14).



Gambar 3.14 Pemasangan batang rel spiral dan step motor

Setelah semua set komponen terpasang dengan tepat dan benar, langkah berikutnya adalah pemasangan *box* pelindung keseluruhan rangka utama, seperti pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 Tampilan secara keseluruhan setelah perangkaian.

Finishing dari pembuatan rangka mesin FDM 3D *Printer* ini ditutup dengan lembar akrilik bening. Tujuannya ialah agar saat pengoperasian berlangsung, proses kerja mesin ini dapat diamati dengan jelas dari berbagai sisi.

3.8 Pengujian Hasil

Selesai dilakukan perangkaian alat, tahapan selanjutnya dilakukan pengujian alat. Pengujian ini bertujuan untuk mengenali dan mengetahui apakah desain alat tersebut telah sesuai dengan kebutuhan konsumen atau belum. Jika tidak mendapatkan kesesuaian maka akan dilakukan perakitan ulang.

BAB IV DATA DAN ANALISA

4.1 Data Perancangan

4.1.1 Perancangan dengan Metode QFD

1. Tahap 1: menetapkan kebutuhan dan keinginan pelanggan
 - a) Harga yang murah
 - b) Cara pengoperasian yang mudah.
 - c) Proses kerja mesin bisa diamati dengan jelas.
 - d) *Feature* yang lengkap.
 - e) Ringan.
 - f) *Portable* dan mudah dipindah lokasikan.
 - g) Sistem *open-sourced*.
 - h) Jarang terjadi *error*.
 - i) Cepat.
 - j) Akurat.
 - k) Sederhana.

Kebutuhan dan keinginan desain di atas didapatkan berdasarkan *literature review* jurnal yang sesuai dengan kebutuhan 3D *printer* untuk anak-anak. Sebagaimana dapat dicakupkan dalam bagian *home-QFD* seperti gambar 4.1 dibawah:

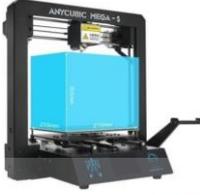
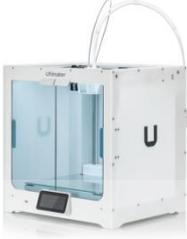
| Row # | Weight Chart | Relative Weight | Customer Importance | Customer Requirements (Explicit and Implicit) | Functional Requirements |
|-------|--------------|-----------------|---------------------|---|-------------------------|
| 1 | | 20% | 3 | Harga yang murah | |
| 2 | | 13% | 2 | Cara pengoperasian yang mudah | |
| 3 | | 13% | 2 | Proses kerja mesin bisa diamati dengan jelas | |
| 4 | | 7% | 1 | Feature yang lengkap | |
| 5 | | 7% | 1 | Ringan | |
| 6 | | 7% | 1 | Portable dan mudah dipindah lokasikan | |
| 7 | | 7% | 1 | Sistem open-sourced | |
| 8 | | 7% | 1 | Jarang terjadi eror | |
| 9 | | 7% | 1 | Cepat | |
| 10 | | 7% | 1 | Akurat | |
| 11 | | 7% | 1 | Sederhana | |

Gambar 4.1 QFD tahap 1

2. Tahap 2: Kompetitor

Untuk bahan pertimbangan dalam membangun desain produk yang akan dibuat diperlukan perbandingan keunggulan dari beberapa produk yang sudah masuk dalam ranah pasar. Tabel 4.1 menyatakan spesifikasi beberapa produk 3d printer yang dikenal di pasaran:

Tabel 4.1 Data QFD tahap 2

| Kompetitor | Anycubic mega-S | Ultimaker | Original Prusa I3 |
|-------------------|---|--|---|
| Harga | Rp 9.660.000 | Rp 90.000.000 | Rp 16.880.000 |
| Size | 210 x 210 x 205 (mm ³) | 390 x 390 x 500 (mm ³) | 250 x 210 x 200 (mm ³) |
| Jumlah nozle | 1 | 2 | 1 |
| Berat | 15 Kg | 20 Kg | 13 kg |
| Bentuk |  |  |  |

3. Tahap 3: karakteristik teknis produk

Dalam tahap 3 ditempatkan karakteristik teknis produk dari produk yang akan dibuat. Yang mana karakteristik tersebut mencantumkan komponen-komponen dasar yang harus ada pada alat mesin FDM 3D printer. Komponen dasar tersebut terdiri dari *frame* (rangka), motor penggerak, *nozzle set*, *bed*, sistem kontrol, dan komponen elektrik, seperti dalam gambar 4.2 berikut:

| Row # | Weight Chart | Relative Weight | Customer Importance | Customer Requirements (Explicit and Implicit) | Functional Requirements | Frame (rangka) | Motor penggerak | Nozzle (Haet) | Bed (platform) | Sistem Kontrol | Komponen elektrik | Our Product | Anycubic mega-S | Ultimaker | Original Prusa I3 |
|-------|--------------|-----------------|---------------------|---|-------------------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|----------------|-------------------|-------------|-----------------|-----------|-------------------|
| 1 | | 20% | 3 | Harga yang murah | | | | | | | | | | | |
| 2 | | 13% | 2 | Cara pengoperasian yang mudah | | | | | | | | | | | |
| 3 | | 13% | 2 | Proses kerja mesin bisa diamati dengan jelas | | | | | | | | | | | |
| 4 | | 7% | 1 | Feature yang lengkap | | | | | | | | | | | |
| 5 | | 7% | 1 | Ringan | | | | | | | | | | | |
| 6 | | 7% | 1 | Portable dan mudah dipindah lokasikan | | | | | | | | | | | |
| 7 | | 7% | 1 | Sistem open-sourced | | | | | | | | | | | |
| 8 | | 7% | 1 | Jarang terjadi eror | | | | | | | | | | | |
| 9 | | 7% | 1 | Cepat | | | | | | | | | | | |
| 10 | | 7% | 1 | Akurat | | | | | | | | | | | |
| 11 | | 7% | 1 | Sederhana | | | | | | | | | | | |

Gambar 4.2 QFD tahap 3

4. Tahap 4: hubungan karakteristik dengan kebutuhan konsumen

Tahap ini merupakan hubungan kesinambungan antara dampak kebutuhan pelanggan dengan karakteristik teknis produk yang telah disimpulkan, seperti gambar 4.3 dibawah:

| Row # | Weight Chart | Relative Weight | Customer Importance | Customer Requirements (Explicit and Implicit) | Functional Requirements | Frame (rangka) | Motor penggerak | Nozzle (Haet) | Bed (platform) | Sistem Kontrol | Komponen elektrik | Our Product | Anycubic mega-S | Ultimaker | Original Prusa I3 |
|-------|--------------|-----------------|---------------------|---|-------------------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|----------------|-------------------|-------------|-----------------|-----------|-------------------|
| 1 | | 20% | 3 | Harga yang murah | | • | o | o | o | o | ∇ | 5 | 3 | 1 | 1 |
| 2 | | 13% | 2 | Cara pengoperasian yang mudah | | o | o | • | ∇ | o | o | 3 | 4 | 1 | 3 |
| 3 | | 13% | 2 | Proses kerja mesin bisa diamati dengan jelas | | • | • | o | o | o | o | 5 | 5 | 2 | 4 |
| 4 | | 7% | 1 | Feature yang lengkap | | o | • | o | o | • | • | 3 | 3 | 5 | 4 |
| 5 | | 7% | 1 | Ringan | | • | • | ∇ | o | ∇ | o | 5 | 1 | 3 | 2 |
| 6 | | 7% | 1 | Portable dan mudah dipindah lokasikan | | • | • | ∇ | ∇ | ∇ | o | 5 | 3 | 2 | 3 |
| 7 | | 7% | 1 | Sistem open-sourced | | ∇ | ∇ | ∇ | ∇ | • | • | 5 | 5 | 1 | 3 |
| 8 | | 7% | 1 | Jarang terjadi eror | | ∇ | ∇ | o | o | • | • | 3 | 3 | 5 | 4 |
| 9 | | 7% | 1 | Cepat | | o | • | ∇ | ∇ | • | • | 3 | 3 | 5 | 4 |
| 10 | | 7% | 1 | Akurat | | • | • | o | ∇ | • | • | 3 | 3 | 5 | 3 |
| 11 | | 7% | 1 | Sederhana | | • | o | o | o | o | o | 5 | 5 | 2 | 3 |

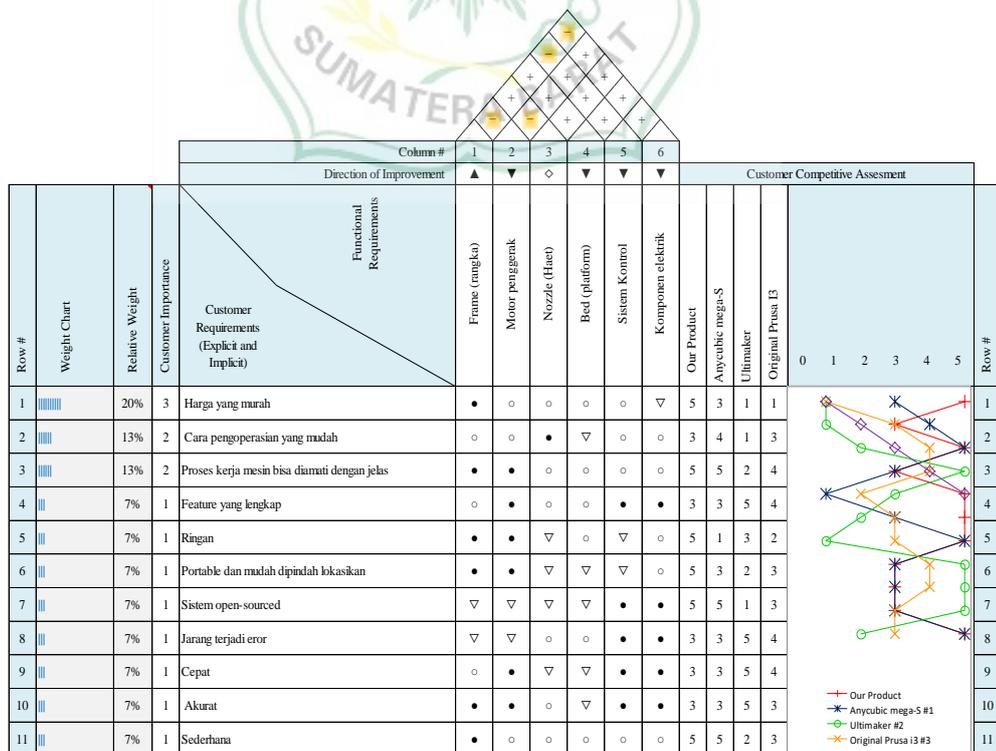
Gambar 4.3 QFD tahap 4

Gambar 4.3 menjelaskan keterkaitan kebutuhan konsumen dengan karakteristik teknis produk. Tanda "▽" menunjukkan hubungan yang lemah, lambang "o" diasumsikan hubungan diantara lemah dan kuat. Sedangkan tanda "●" membuktikan hubungan yang kuat.

Dari hubungan tersebut dapat dilihat bahwa bentuk *frame* yang dibutuhkan adalah murah harganya, proses saat pengoperasiannya dapat diamati dengan jelas, ringan sehingga *portable* dan mudah dilokasikan, serta akurat dan sederhana. Untuk motor penggerak dibutuhkan yang cara pengopersainnya mudah, *feature* lengkap, ringan, jarang *error* dan akurat. *Nozzle* hanya dibutuhkan yang mudah dioperasikan dan *bed* yang relatif standar saja. Sedangkan pada sistem kontrol dan komponen elektrikalnya yang lebih dibutuhkan yaitu *feature* yang lengkap sistem *open-sourced* jarang *error*, kerjanya cepat dan akurat.

5. Tahap 5: tahap analisis teknik

Pada tahap analisis ini data yang didapat dievaluasi dan dibandingkan sebagai acuan penetapan parameter-parameter teknik yang dibutuhkan untuk pembuatan produk, dinyatakan pada gambar 4.4.

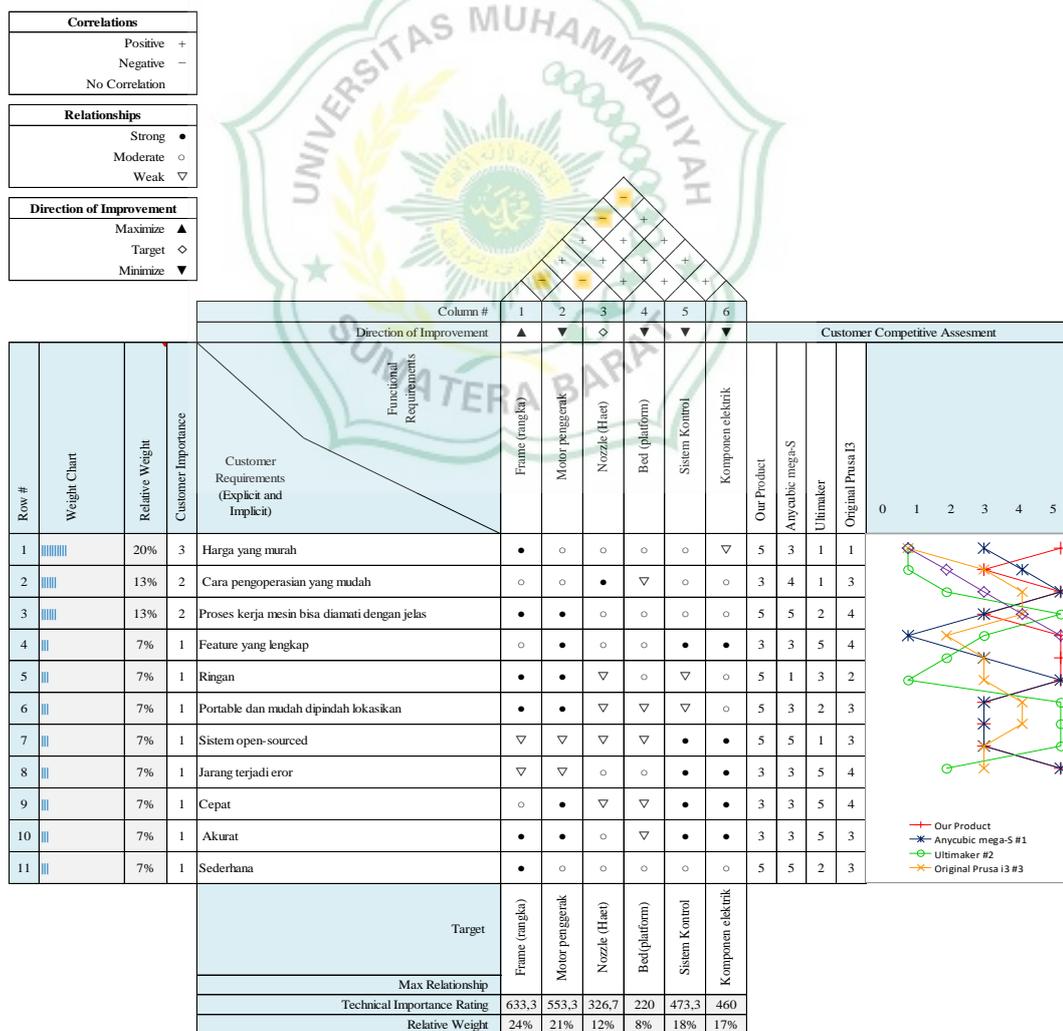


Gambar 4.4 QFD tahap 5

Pada gambar 4.4 di atas menjelaskan antara korelasi antar karakteristik alat bahwa hubungan *frame* dan motor penggerak yang berpengaruh kuat terhadap keberadaan *nozzle* dan *bed*, serta lemah pengaruhnya terhadap motor penggerak, sistem kontrol dan komponen elektrik. Sementara itu, *nozzle* dan *bed* akan berpengaruh pada semua aspek sistem. Sedangkan sistem kontrol dan komponen elektrik akan mempengaruhi kinerja semua aspek sistem kecuali pada *frame*-nya.

6. Tahap 6: target produk

Berdasarkan serangkaian data yang telah dikumpulkan dan dievaluasi didapatkan target produk yang akan dicapai. Data lebih lanjutnya dapat dilihat pada Gambar 4.5.

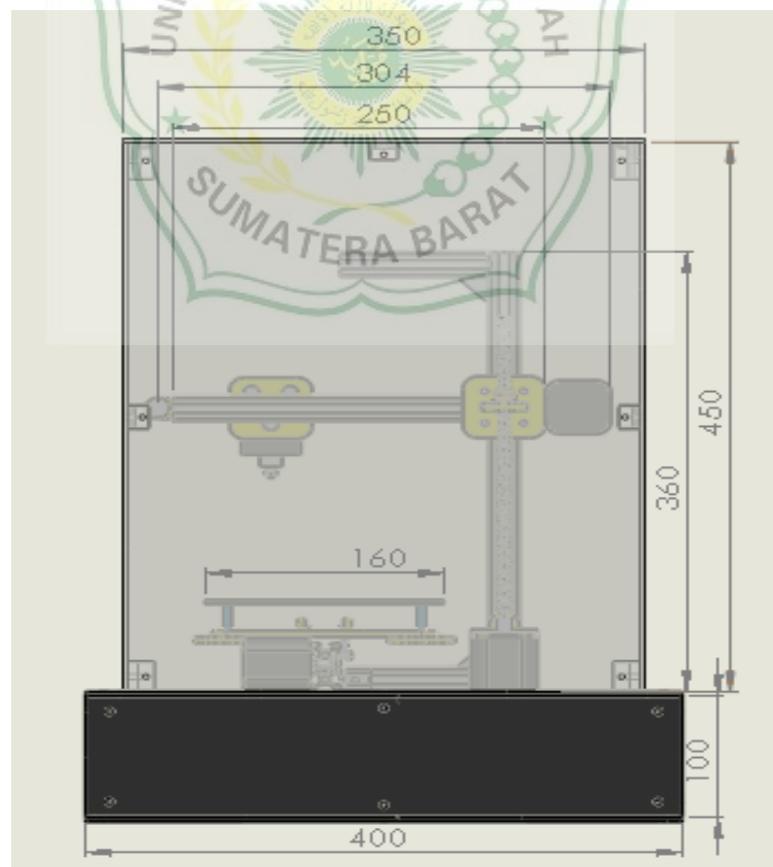


Gambar 4.5 Home-QFD

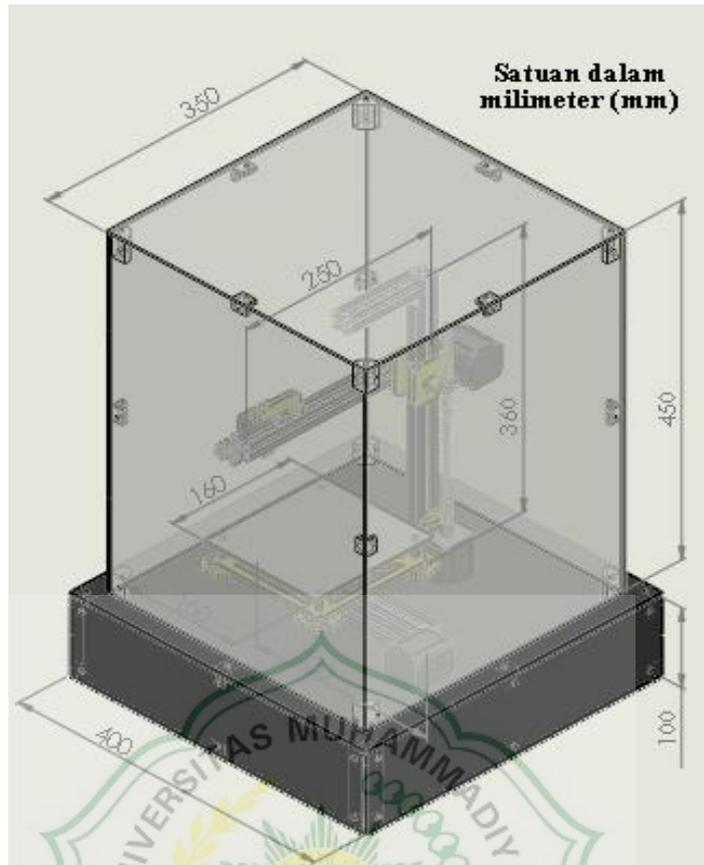
Dalam tabel gambar 4.5 di atas dapat dilihat adanya kesimambuan pada setiap aspek data, terutama pada relasi karakteristik alat dengan kebutuhan konsumen. Yang mana nilai dari simbol "▽" adalah 1, simbol "○" bernilai 3, sedangkan simbol "●" diberi nilai 9. Sehingga jumlah nilai dari relasi tersebut menghasilkan target pencapaian tertinggi pada *frame* yaitu dengan nilai 633 relatif 24%. Sedangkan nilai terendah pada *bed* dengan nilai 220 relatif 8%, *nozzle* senilai 327 tepatnya 12%, dan komponen elektrik berjumlah 460 relatif 17%. Sementara motor penggerak dan sistem kontrol memiliki nilai masing-masing yaitu 553 yang relatif 21% dan 473 relatif 18 %.

4.1.2 Hasil Desain Alat

Berdasarkan data dari QFD yang telah didapatkan hasil desain alat seperti pada gambar 4.6. dan gambar 4.7 Pembuatan pemodelan awal rangka menggunakan bantuan *software 3D Solidworks 2014*.



Gambar 4.6 Gambar desain tampak depan



Gambar 4.7 Gambar desain isometrik

Dimana dimensi total dari alat adalah 400x400x550 (mm), dimensi bed 160x160 (mm), dan dimensi maksimal produk 150x150x130 (mm), dan berat produk keseluruhan 3,5 kg.

4.2 Verifikasi Hasil Perancangan dengan Metode QFD

Berdasarkan hasil yang didapat dari QFD dalam penelitian ini, kemudian diterapkan untuk melakukan pembuatan alat ini dengan hasil sebagai berikut:

1. Harga: Untuk harga Mesin 3D *printer* serupa dipasaran seharga 5-6 jutaan, sedangkan mesin yang dibuat ini berkisar dengan harga 2-3 jutaan saja. Dengan demikian harga alat ini dapat ditekan hingga 50% di pasaran. Apalagi semenjak adanya pandemik, daya ekonomi masyarakat menurun. Alat ini juga bisa menjadi alternatif solusi ekonomi dan teknologi.
2. Cara pengoperasian yang mudah: Masalah sistem *Interface* dan metode pengoperasian mesin yang masih relatif rumit diatasi dengan pemilihan

komponen-komponen yang sederhana, landasan *printing* yang biasanya bisa dipanaskan diganti dengan sistem biasa yang tidak dipanaskan dengan penambahan lapisan khusus agar produk tetap menempel dengan baik.(gambar 3.10)

3. Proses kerja mesin bisa diamati dengan jelas. Dengan *frame* yang bertiang satu saja dan penutup mesin yang bening sehingga proses pengerjaan dapat diamati dengan jelas dari 3 sisi lainnya. (gambar 3.15)
4. Lengkap: Kelengkapan *feature* sama dengan mesin 3d *printer* lainnya, terdapat *nozzle set*, step motor, sistem kontrol, dan jaringan elektrikal lainnya.
5. Ringan: Produk sejenis terkisar berat diatas 9 kg an. Sedangkan dengan 3D *printer* ini hanya seberat 3-4 kg.
6. Portable dan mudah dialokasikan: Dengan berat yang yang lebih ringan tentu dapat dipindahkan dengan mudah baik bagi orang dewasa atau bagi anak-anak.
7. Sistem *open-sourced*: Karena akan lebih banyak dimanfaatkan untuk tujuan edukasi makan sistem operasi mesin dengan metode *open-sourced* lebih disukai. Sistem ini merupakan sistem yang gratis sehingga bisa dimanfaatkan semua orang tanpa harus membayar royalti.
8. Cepat: Kecepatan yang telah ada sekarang pun juga sudah mencukupi dimana para siswa tidak sekedar menunggu hasil produknya jadi dengan cepat namun mereka juga akan memiliki waktu untuk melakukan pengamatan terhadap jalannya proses perinting tersebut.
9. Akurat: Kecepatan yang telah ada sekarang pun juga sudah mencukupi dimana para siswa tidak sekedar menunggu hasil produknya jadi dengan cepat namun mereka juga akan memiliki waktu untuk melakukan pengamatan terhadap jalannya proses perinting tersebut.
10. Sederhana: Kesederhanaan menjadi sebuah kunci utama dalam perancangan mesin FDM 3D *printer* yang cocok untuk digunakan oleh para siswa SMP atau anak-anak. Rancangan alat pada penelitian ini menerapkan konsep kesederhanaan agar sesuai bagi siswa SMP dan terjangkau bagi institusi pendidikan.

4.3 Pengujian Alat

Berdasarkan hasil dari verifikasi data rancangan yang telah didapat, telah dilakukan pembuatan dan perakitan alat. Dari hasil pengujian terhadap fungsi komponen-komponen mekanik dapat dinyatakan bahwasanya mesin FDM 3D *Printer* ini sudah dapat berfungsi dengan baik.



BAB V

PENUTUP

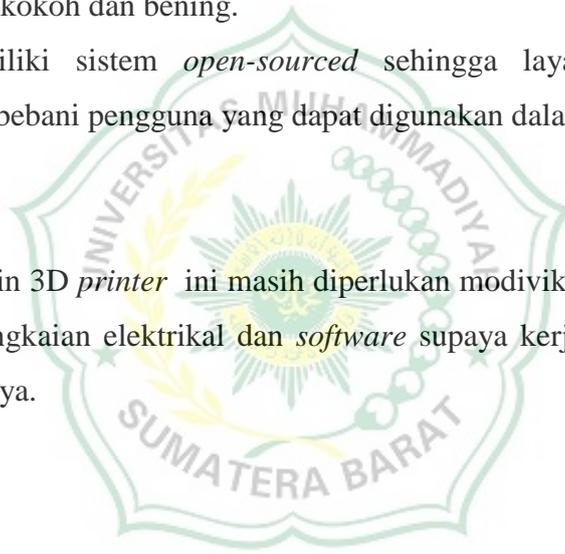
5.1 Kesimpulan

Berdasarkan kriteria-kriteria data yang diolah dari metode QFD didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Desain mesin FDM 3D *printer* yang dihasilkan dari metode QFD memiliki model *gantry* dengan biaya produksi yang 50% lebih rendah dan bobotnya 50% lebih ringan dari tipe mesin serupa lainnya.
2. Desain alat aman digunakan untuk pelajar setingkat SMP dan mudah diamati kerjanya karena memiliki box penutup sekaligus pelindung yang kokoh dan bening.
3. Memiliki sistem *open-sourced* sehingga layanannya gratis tanpa membebani pengguna yang dapat digunakan dalam jangka panjang.

5.2 Saran

Pada mesin 3D *printer* ini masih diperlukan modifikasi dan pengembangan pada sistem rangkaian elektrikal dan *software* supaya kerja mesin lebih optimal pengoperasiannya.



DAFTAR PUSTAKA

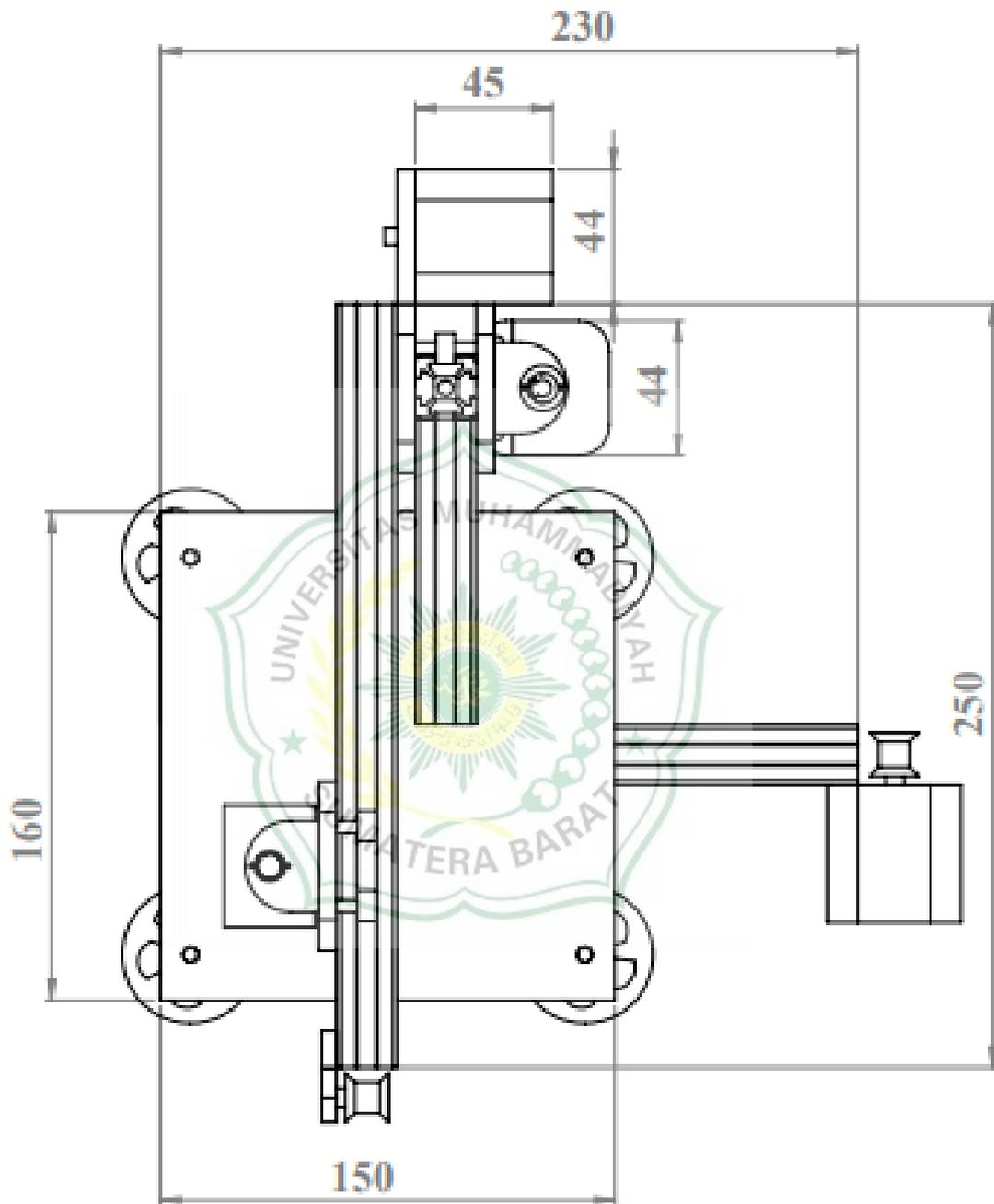
- [1] M. D. Mulyawan and G. E. Pramono, "RANCANG BANGUN KONSTRUKSI RANGKA MESIN 3D *PRINTER* TIPE CARTESIAN BERBASIS FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)," vol. 06, no. 4, pp. 252–257, 2017.
- [2] T. Rusianto, S. Huda, and J. T. Mesin, "A riview : jenis dan pencetakan 3d (3d *printing*) untuk pembuatan prototipe," vol. 12, no. 1, pp. 14–21, 2019.
- [3] I. N. Budiastara and I. G. F. Frasiska, "Rancang Bangun 3D *Printer* Core Xy Menggunakan Ramp 1 . 4 Berbasis Atmega 2560," vol. 7, no. 2, pp. 57–61, 2020.
- [4] R. Q. I. Berry, G. Bull, C. D. Thomas, Christine Browning, K. Starkweather, and J. H. Aylor, "No Title Preliminary Considerations Regarding Use of Digital Fabrication to Incorporate Engineering Design Principles in Elementary Mathematics Education," *Contemp. Issues Technol. Teach. Educ.*, vol. 10, no. 2, 2010.
- [5] V. Kostakis, V. Niaros, and C. Giotitsas, "Open source 3D *printing* as a means of learning: An educational experiment in two high schools in Greece," *Telemat. Informatics*, vol. 32, pp. 118–128, 2015, doi: 10.1016/j.tele.2014.05.001.
- [6] M. Eisenberg, "3D *printing* for children: What to build next?," *Int. J. Child-Computer Interact.*, vol. 1, no. 1, pp. 7–13, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.ijcci.2012.08.004.
- [7] J. W. Brine and D. Roy, "3D *Printing* for Multidiciplinary Education: A Technology with Diverse Potential," in *11th International Technology, Education and Development Conference*, 2017, pp. 1000–1010, doi: 10.21125/inted.2017.0039.
- [8] S. Ford and T. Minshall, "3D *printing* in education : a literature review 3D *printing* in education : a literature review," *Addit. Manuf.*, no. October 2016, 2018.
- [9] K. R. Dantes, "KAJIAN AWAL PENGEMBANGAN PRODUK DENGAN MENGGUNAKAN METODE QFD (QUALITY FUNCTION

DEPLOYMENT) (STUDI KASUS PADA TANG JEPIT JAW
LOCKING PLIERS),” vol. 2, no. 1, pp. 173–183, 2013.

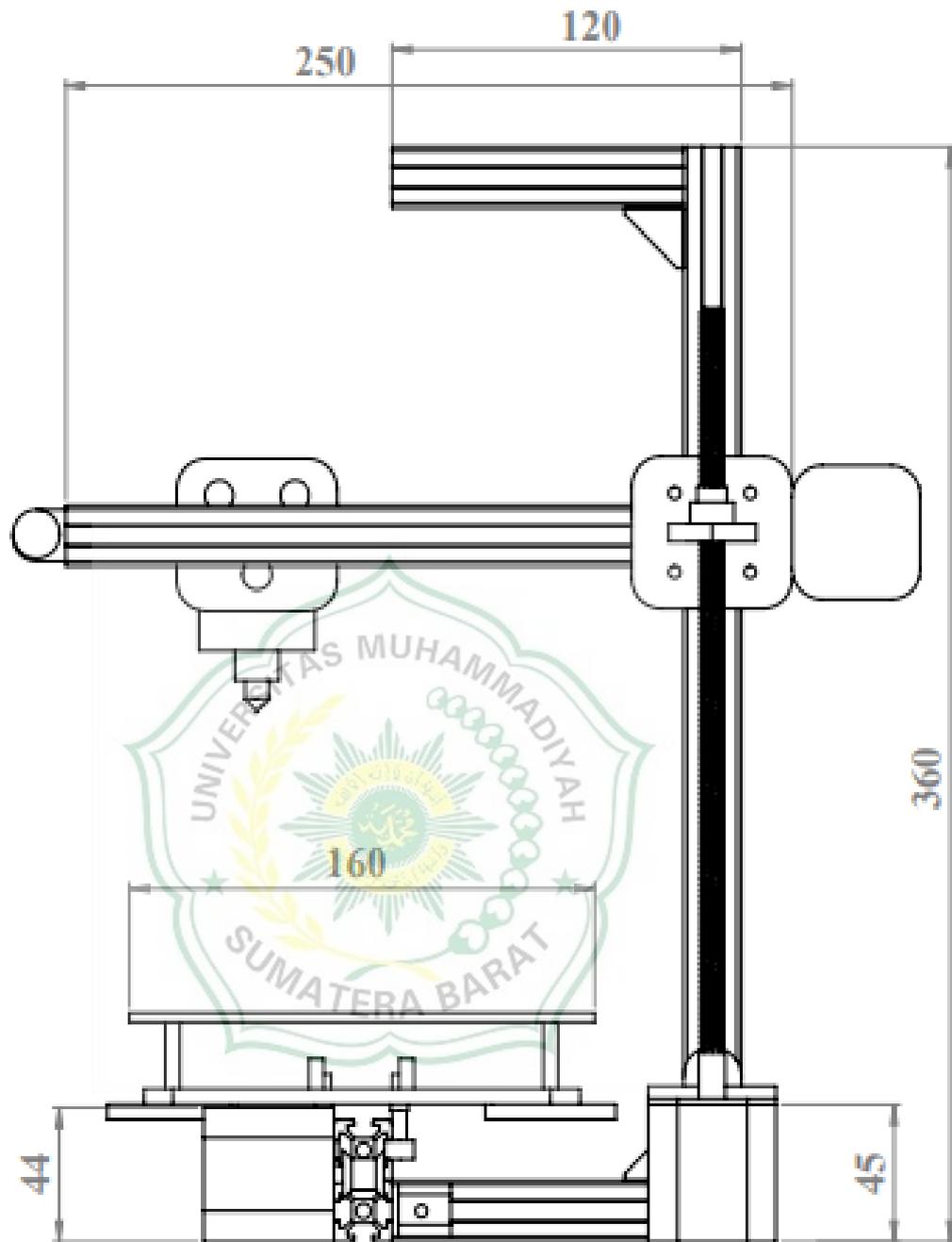
- [10] I. N. Azizah, R. Lestari, and H. H. Purba, “Penerapan Metode Quality Function Deployment dalam Memenuhi Kepuasan Konsumen pada Industri Komponen Otomotif,” vol. 19, no. 2, pp. 127–136, 2018.
- [11] D. Y. Irawati, M. L. Singgih, and B. Syarudin, “INTEGRASI QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD) DAN CONJOINT ANALYSIS UNTUK MENGETAHUI PREFERENSI KONSUMEN,” vol. 13, no. 2, pp. 618–640, 2014.
- [12] S. A. Sari, P. Vitasari, and S. LA, “Pengembangan Desain Mesin Penghancur Kotoran Kambing Dengan Menggunakan Metode,” vol. 4, no. 2, pp. 29–34, 2018.
- [13] I. Siregar and K. Adhinata, “PERANCANGAN PRODUK TEMPAT TISU MULTIFUNGSI DENGAN MENGGUNAKAN QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD),” vol. 19, no. 2, pp. 21–29, 2017.
- [14] Y. Widodo and Z. F. Ikatrinasari, “IMPLEMENTASI METODE QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS PRODUK LIFT,” vol. 2, no. 3, pp. 195–203, 2014.
- [15] D. S. Mulyati, “Penerapan Quality Function Deployment (Qfd) Untuk Meningkatkan Kualitas Pelayanan,” pp. 1–27, 2012.
- [16] C. O. Mailani, Yofa., “RANCANG BANGUN 3D *PRINTER* MENGGUNAKAN SISTEM AUTO LEVELING DENGAN MIKROKONTROLER,” vol. 4, no. 2, pp. 232–239, 2021.

LAMPIRAN

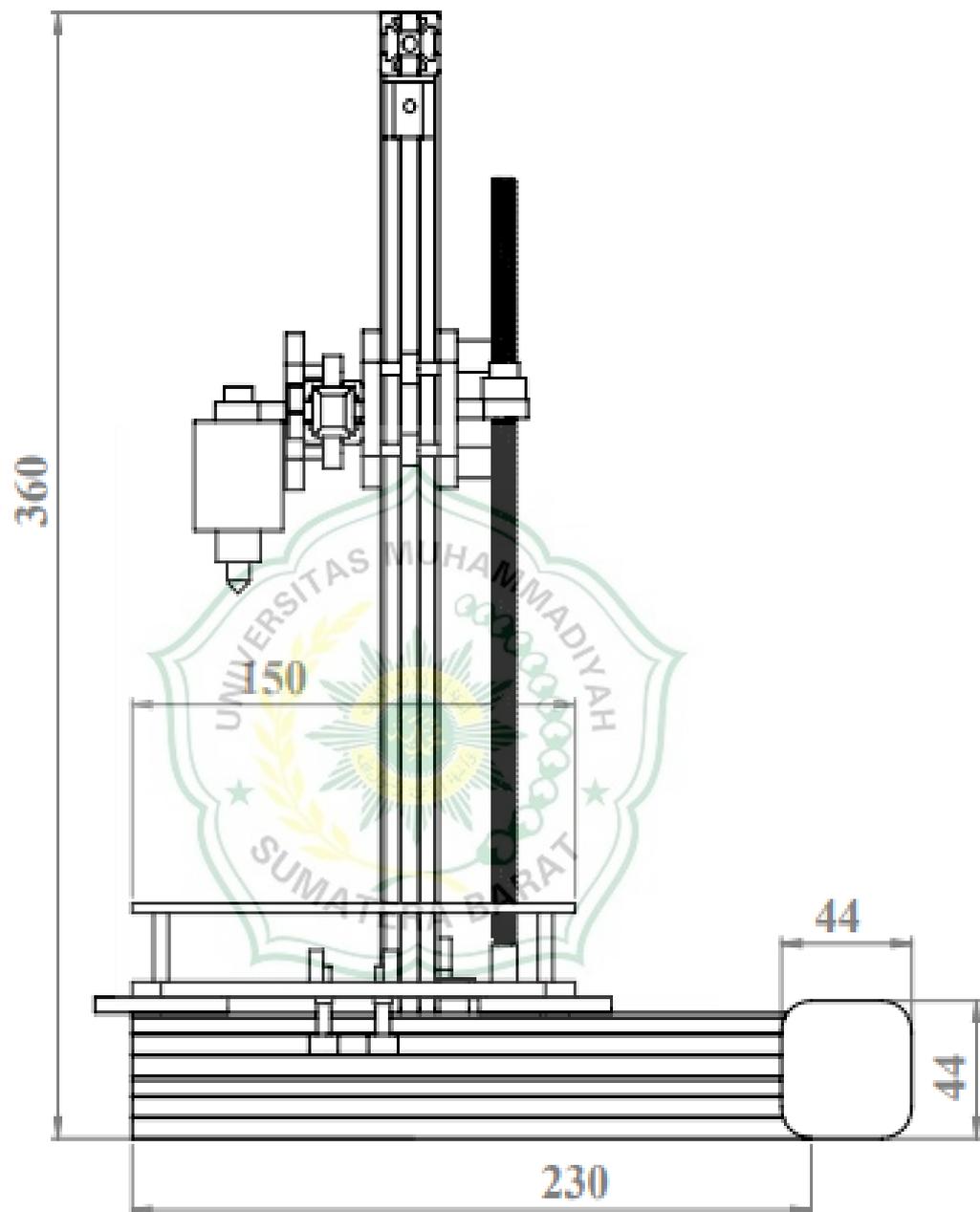




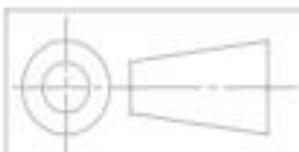
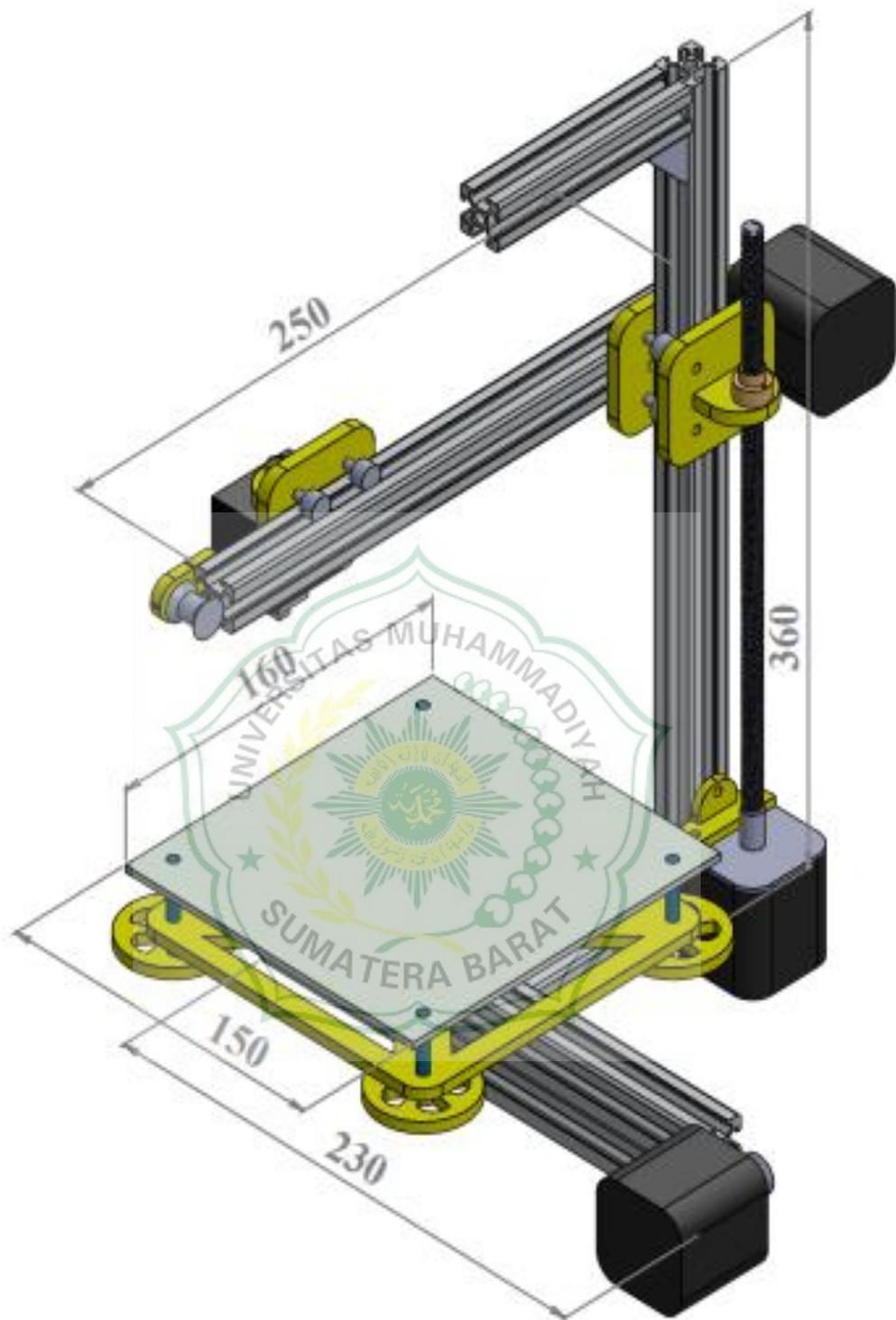
| | | | | |
|--|---------------|----------------------------|--------------|-----------|
| | SKALA : 1 : 2 | DIGAMBAR : KIT NADA | KETERANGAN : | |
| | SATUAN : MM | DIPERIKSA : | | |
| | TANGGAL : | TAMPAK ATAS | | |
| TEKNIK MESIN Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat | | Frame 3D Printer | 01 | A4 |



| | | | |
|--|---------------|---------------------|--------------|
| | SKALA : 1 : 2 | DIGAMBAR : KIT NADA | KETERANGAN : |
| | SATUAN : MM | DIPERIKSA : | |
| | TANGGAL : | TAMPAK DEPAN | |
| TEKNIK MESIN Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat | | Frame 3D Printer | 02 A4 |



| | | | | |
|--|---------------|----------------------------|--------------|-----------|
| | SKALA : 1 : 2 | DIGAMBAR : KIT NADA | KETERANGAN : | |
| | SATUAN : MM | DIPERIKSA : | | |
| | TANGGAL : | TAMPAK SAMPING | | |
| TEKNIK MESIN Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat | | Frame 3D Printer | 03 | A4 |



SKALA : 1 : 2

SATUAN : MM

TANGGAL :

DIGAMBAR : KIT NADA

DIPERIKSA :

TAMPAK ISOMETRIK

KETERANGAN :

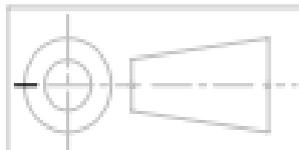
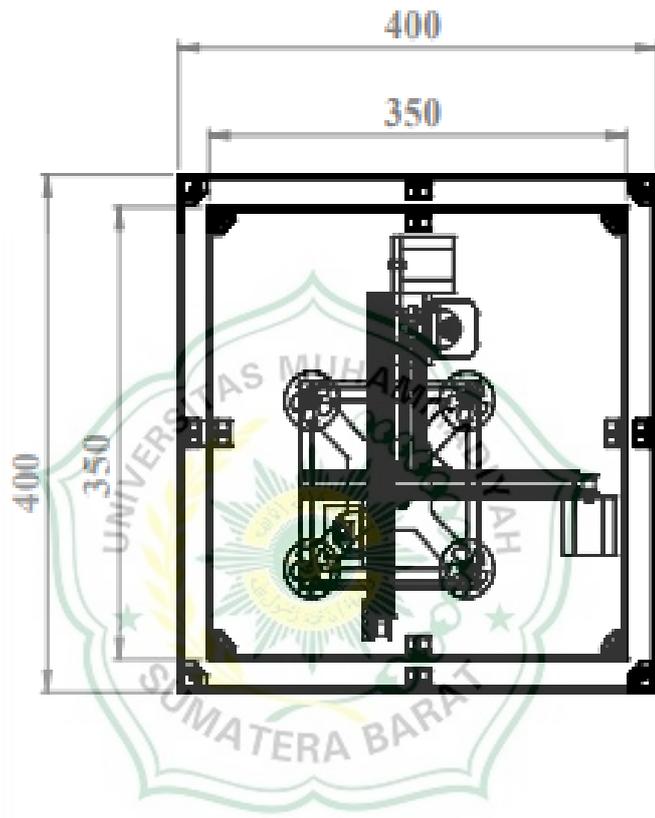
TEKNIK MESIN

Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat

Frame 3D Printer

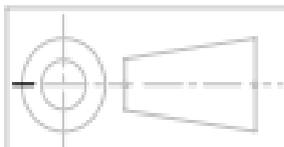
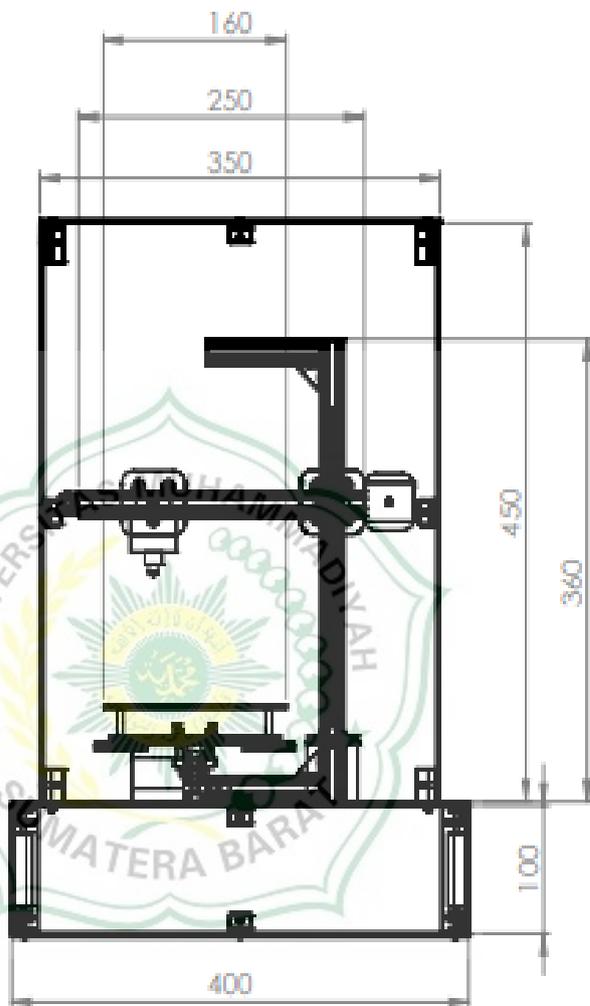
04

A4



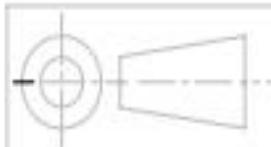
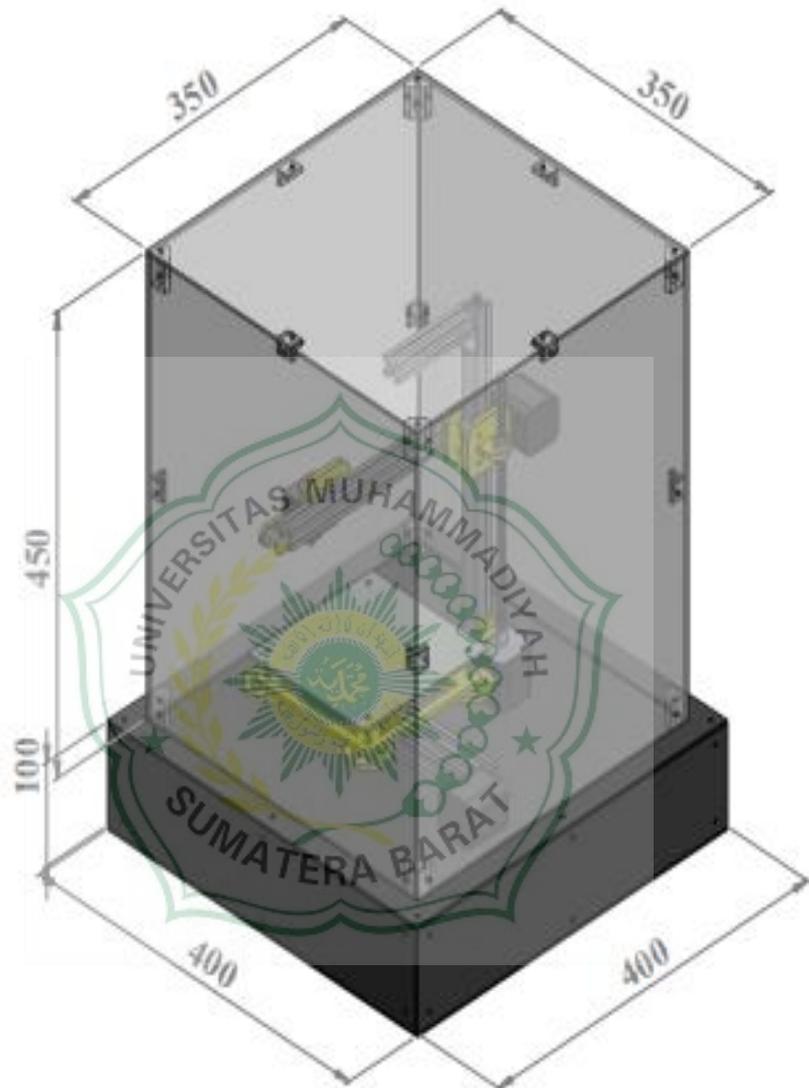
| | | |
|---------------|---------------------|--------------|
| SKALA : 1 : 5 | DIGAMBAR : KIT NADA | KETERANGAN : |
| SATUAN : MM | DIPERIKSA : | |
| TANGGAL : | TAMPAK ATAS | |

| | | | |
|--|----------------------|----|----|
| TEKNIK MESIN Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat | PROTOTYPE 3D PRINTER | 05 | A4 |
| | | | |



| | | |
|---------------|---------------------|--------------|
| SKALA : 1 : 5 | DIGAMBAR : KIT NADA | KETERANGAN : |
| SATUAN : MM | DIPERIKSA : | |
| TANGGAL : | TAMPAK DEPAN | |

| | | | |
|--|----------------------|----|----|
| TEKNIK MESIN Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat | PROTOTYPE 3D PRINTER | 06 | A4 |
|--|----------------------|----|----|



SKALA : 1 : 5

SATUAN : MM

TANGGAL :

DIGAMBAR : KIT NADA

DIPERIKSA :

TAMPAK ISOMETRIK

KETERANGAN :

TEKNIK MESIN

Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat

PROTOTYPE 3D PRINTER

07

A4