

**PERANCANGAN PRODUK MAINAN EDUKASI STEM 3D-PRINTED
BUILDING BLOCK STRUCTURE MENGGUNAKAN
QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD)**

(Skripsi)

Oleh:

Muhammad Yafizham Rusman Noor

1915021045



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2024

ABSTRAK

PERANCANGAN PRODUK MAINAN EDUKASI STEM *3D-PRINTED* *BUILDING BLOCK STRUCTURE* MENGGUNAKAN *QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD)*

Oleh

MUHAMMAD YAFIZHAM RUSMAN NOOR

Perkembangan sistem kognitif remaja perlu diakomodasi melalui banyak metode, salah satunya mainan berbasis STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics). Mainan berbasis STEM dapat melatih kinerja kognitif, motorik, dan imajinasi remaja sehingga mereka dapat mengaplikasikan pembelajaran ke dalam hal yang lebih menarik. Salah satu jenis mainan STEM adalah building block structure yang dapat dimanufaktur menggunakan 3D-printer. Penggunaan 3D-printer dapat menekan biaya dan waktu produksi. Perancangan mainan STEM yang dimanufaktur oleh 3D-Printing menggunakan proses analisis QFD (Quality Function Deployment) sehingga dapat mengakomodir kebutuhan konsumen dan memproses kebutuhan tersebut ke dalam perencanaan teknis produksi. Berdasarkan metode QFD, didapat bahwa kebutuhan konsumen terhadap mainan STEM menghasilkan rancangan building block berupa beam dan connector yang dimanufaktur menggunakan material PLA (Polymer Polyactid Acid) dapat dirakit untuk membangun miniatur jembatan. Perakitan miniatur jembatan memerlukan total 142 komponen dengan biaya Rp. 93.792 dimana harga ini relatif murah dibanding dengan kompetitor yang ada di pasaran.

Kata Kunci: *STEM, QFD, building blocks, 3D-printing.*

ABSTRACT

DESIGN OF STEM 3D-PRINTED BUILDING BLOCK STRUCTURE EDUCATIONAL TOY PRODUCTS USING QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD)

By

MUHAMMAD YAFIZHAM RUSMAN NOOR

The development of adolescents' cognitive systems needs to be accommodated through many methods, one of which is STEM-based toys (Science, Technology, Engineering, Mathematics). STEM-based toys can train adolescents' cognitive, motor, and imagination performance so that they can apply learning to more interesting things. One type of STEM toy is a building block structure that can be manufactured using a 3D-printer. The use of 3D-printers can reduce production costs and time. The design of STEM toys manufactured by 3D-Printing uses the QFD (Quality Function Deployment) analysis process so that it can accommodate consumer needs and process these needs into production technical planning. Based on the QFD method, it was found that consumer needs for STEM toys resulted in building block designs in the form of beams and connectors manufactured using PLA (Polymer Polyactic Acid) materials that can be assembled to build miniature bridges. The assembly of miniature bridges requires a total of 142 components at a cost of Rp. 93,792 where this price is relatively cheap compared to competitors on the market.

Keyword: STEM, QFD, building blocks, 3D-printing.

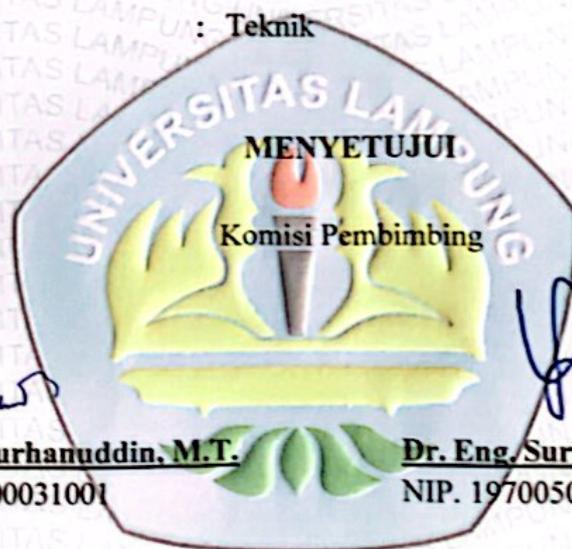
Judul Skripsi : **PERANCANGAN PRODUK MAINAN
EDUKASI STEM 3D-PRINTED BUILDING
BLOCK STRUCTURE MENGGUNAKAN
QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD)**

Nama Mahasiswa : *M. Yafizham Rusman Noor*

Nomor Pokok Mahasiswa : 1915021045

Program Studi : S1 Teknik Mesin

Fakultas : Teknik



[Signature]
Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.
NIP. 196405062000031001

[Signature]
Dr. Eng. Survadiwansa Harun, S.T., M.T.
NIP. 197005012000031001

MENGETAHUI

Ketua Jurusan
Teknik Mesin,

Ketua Program Studi
S1. Teknik Mesin,

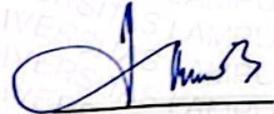
[Signature]
Gusri Akhvar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197108171998021003

[Signature]
Ir. Martinus, S.T., M.Sc.
NIP. 197908212003121003

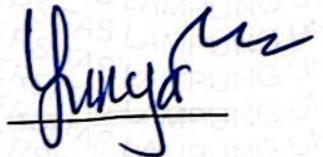
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

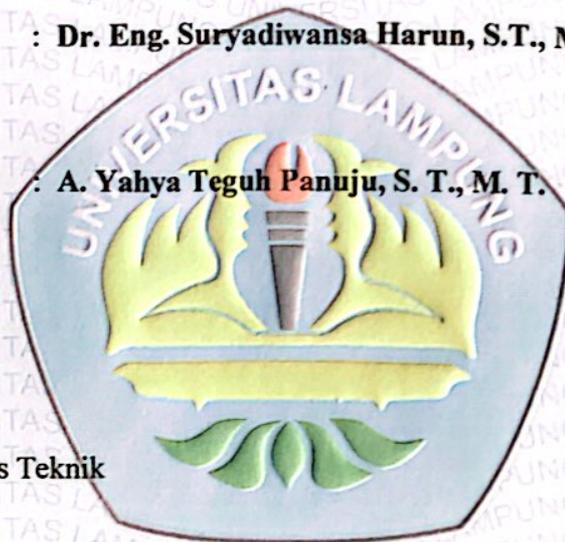
Ketua : Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.



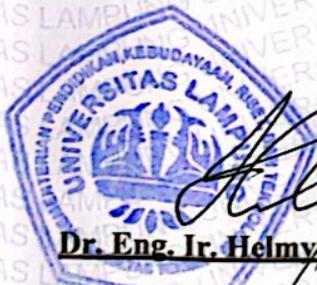
Anggota Penguji : Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, S.T., M.T



Penguji Utama : A. Yahya Teguh Panuju, S. T., M. T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }

NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 28 Juni 2024

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

DENGAN INI SAYA MENYATAKAN BAHWA SKRIPSI INI SAYA BUAT
DENGAN USAHA SAYA SENDIRI DAN BUKAN HASIL DARI PLAGIAT
SEBAGAIMAN DIATUR DALAM PASAL 36 KEPUTUSAN AKADEMIK
UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN KEPUTUSAN REKTOR NO. 13
TAHUN 2019

Bandar Lampung, 28 Juni 2024
Penulis



MUHAMMAD YAFIZHAM RUSMAN NOOR
NPM. 1915021045

HALAMAN PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala Rahmat dan Karuna-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar. Shalawat serta Salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

KARYA TULIS INI KUPERSEMBAHKANKAN KEPADA

Ayahanda dan Ibunda Tercinta

Yang senantiasa memberikan semangat dan melantunkan do'a yang selalu menyertaiku. Terima kasih yang sebesar-besarnya kuucapkan karena telah mendidik dan membersarkanku dengan penuh kasih sayang, dukungan, dan pengorbanan yang sampai kapanpun tidak akan bisa terbalaskan.

Seluruh Keluarga Besar Teknik Mesin 2019

Serta

Almamater Tercinta, Universitas Lampung dan Jurusan Teknik Mesin

SANWACANA

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh.

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan lancar dan dalam keadaan sehat. Shalawat serta salam semoga tetap tercurah limpahkan kepada junjungan besar kita, Nabi Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wassalam, beserta keluarga dan sahabat. Semoga kita sebagai umatnya, selalu mendapatkan syafaat beliau di akhirat kelak. Skripsi ini dibuat sebagai tanda selesai pelaksanaan skripsi. Karya tulis ini diharapkan dapat menjadi ilmu yang bermanfaat dan juga dapat dikembangkan khususnya dalam bidang energi terbarukan biomassa. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelas Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Dalam penyusunan skripsi ini tentunya penulis mendapatkan pengalaman dan pembelajaran dari beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dan perkuliahan ini dengan baik.
2. Orang tua penulis, Ayahanda Syahrizal, Ibunda Yurida, dan Nenek Umi yang selalu mendampingi, mendidik, mendoakan, mendukung, dan juga memberi restu pada penulis agar tetap semangat dalam menjalankan serta menyelesaikan studi Teknik Mesin di Universitas Lampung.
3. Saudara penulis, Kamil, Salma, Shadiq, dan Zahra yang selalu memberikan doa, motivasi, dan masukan selama penulis menjalan perkuliahan.

4. Adik dari ibu penulis yaitu dr. Yasmina Ediani, yang selalu membantu mengirimkan obat dan memberi dukungan terhadap penulis dikala penulis sedang sakit.
5. Seluruh keluarga besar penulis yang telah memberikan doa, dukungan, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik
6. Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T. selaku Pembimbing akademik juga selaku Pembimbing I yang telah membina saya selama perkuliahan dan juga membimbing skripsi ini.
7. Bapak Dr. Eng. Suryadiwansa Harun, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing selama perkuliahan dan mengerjakan skripsi ini.
8. Bapak Achmad Yahya TP, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing selama perkuliahan dan mengerjakan skripsi ini.
9. Seluruh Dosen di Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah menjadi guru dan mengajarkan dasar pengetahuan yang dibutuhkan kepada penulis.
10. Seluruh staff dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
11. Keluarga pertama penulis di Teknik Mesin, Giova, Michael, Raihan, Panji, dan Yuda. Terimakasih telah menjadi keluarga pertama yang telah memberikan kebahagiaan, dukungan, dan pengalaman yang tidak akan pernah saya lupakan selama perkuliahan hingga kedepannya.
12. Kerabat yang membantu penulis dalam proses pembuatan skripsi. Reinita Aulia, Fadhil Budiardjo, Budro. Terima kasih atas semua ilmu, semangat, dan motivasi yang telah diberikan selama menjalani proses pembuatan skripsi.
13. Kedua sahabat kosan, Evan dan Aurick. Terima kasih telah menjadi tempat berkeluh kesah dan menemani masa-masa perantauan.

14. Teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2019 yang telah bersama-sama berjuang meraih mimpi, memberikan motivasi, dan memberikan semangat selama perkuliahan.
15. Seluruh kakak dan adik tingkat Teknik Mesin yang telah bertukar dan berbagi ilmu selama perkuliahan.
16. Serta semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu menyelesaikan Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kemajuan ilmu pengetahuan di masa mendatang. Akhir kata penulis sangat berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi pembaca.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Muhammad Yafizham Rusman Noor, lahir pada tanggal 10 Januari 2001 di Kota Jakarta Selatan, Provinsi DKI Jakarta. Penulis merupakan anak ke tiga dari Bapak Syahrizal Noor dan drg. Yurida Ediani. Penulis menempuh pendidikan dasar hingga Sekolah Menengah Pertama di Madrasah Pembangunan UIN Jakarta hingga tahun 2016, dan Sekolah Menengah Akhir di SMAN 3 Kota Tangerang Selatan melalui jalur bakat istimewa atlet hingga tahun 2019. Selama menjalani Pendidikan SMA, penulis aktif dalam ajang olahraga basket dan atletik. Penulis aktif dalam kegiatan Ekstrakurikuler Bola Basket dari tahun 2016-2019. Selama SMA Penulis sudah mengikuti ajang perlombaan basket tingkat kota dan Asia di Singapore.

Pada Pada tahun 2019, penulis melanjutkan studi S1 Teknik Mesin di Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama melaksanakan studi, penulis aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Ketua Bidang Minat dan Bakat (MITBAK) 2021-2022. Tahun 2021 penulis berkesempatan untuk melaksanakan Kerja Praktek (KP) sekaligus Magang Belajar Kampus Merdeka (MBKM) di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) pada bagian Pusat Riset Teknologi Industri dan Proses Manufaktur (PRTIPM) Serpong, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten dengan judul laporan “**Analisis Frekuensi Pribadi**

Antara Hollow Boring Bar Massa Rendah dan Solid Boring Bar Menggunakan SOLIDWORKS".

Pada tahun 2024 penulis menyelesaikan program studi S1 Teknik Mesin dengan judul skripsi "***Perancangan Produk Mainan Edukasi STEM 3D-Printed Building Block Structure Menggunakan Quality Function Deployment (QFD)***" dengan bimbingan Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
SANWACANA	vii
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Sistematika Penulisan	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Perancangan	7
2.2 Konsep	10
2.3 Proses Desain	12
2.3.1 Sketsa Awal	12
2.3.2 Pembuatan CAD Model.....	13
2.3.3 Pembuatan Prototipe	14
2.3.4 Pembuatan Prototipe Akhir.....	15
2.4 Prototipe	15
2.5 Produk	17
2.6 Mainan Edukasi STEM.....	18

2.7 3D Printing	21
2.8 Quality Function Deployment (QFD)	24
2.9 House of Quality (Matriks Perencanaan Produk)	26
2.9.1 Komponen Utama House of Quality	28
III. METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1 Waktu dan Tempat	32
3.2 Metode Penelitian	33
3.3 Voice of Customer Penelitian	38
3.4 Alat dan Bahan Untuk Prototyping	39
3.5 Alur Penelitian	44
3.6 Prosedur Penelitian	46
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Technical Requirement	50
4.2 Matriks Korelasi Kebutuhan Konsumen dan Persyaratan Teknis	51
4.3 Matriks Korelasi Antara Tiap Persyaratan Teknis	54
4.4 Konsep Mainan Edukasi	57
4.4.1 Konsep 1 Pin Lock	58
4.4.2 Konsep 2 Double C Clip	60
4.4.3 Konsep 3 Slide Lock	62
4.5 Pemilihan Konsep	64
4.6 Desain dan Spesifikasi Komponen Mainan Edukasi	67
4.6.1 Beam	67
4.6.2 Lock	69
4.6.3 Pin Lock	70
4.6.4 Sistem Pengunci Lock	71
4.7 Rancangan Mainan Edukasi Struktur	73

4.7.1 Prototyping.....	74
4.7.2 Spesifikasi.....	77
4.7.3 Rancangan Mainan Edukasi Struktur Dalam Bentuk Modul.....	78
4.8 Matriks Target Spesifikasi	80
4.9 Matriks Rencana Pasar.....	83
4.10 Hasil House Of Quality.....	84
V. PENUTUP.....	86
5.1 Kesimpulan	86
5.2 Saran	87
DAFTAR PUSTAKA	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sketsa Kasar	13
Gambar 2.2 CAD Model	14
Gambar 2.3 Prototipe Akhir dan Prototipe Awal.....	15
Gambar 2.4 <i>Mainan</i> STEM Pesawat.....	19
Gambar 2.5 Mainan LEGO	20
Gambar 2.6 Mesin Printer FDM	23
Gambar 2.7 Empat Macam Tahap QFD	26
Gambar 2.8 Komponen <i>House Of Quality</i>	29
Gambar 3.1 Perangkat Lunak Wondershare	40
Gambar 3.2 Perangkat Lunak Inventor	41
Gambar 3.3 Perangkat Lunak <i>Slicer</i>	41
Gambar 3.4 Mesin 3D <i>Printer</i>	43
Gambar 3.5 Flowchart Penelitian.....	45
Gambar 3.6 <i>House Of Quality</i> Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.1 Gambar Matriks Korelasi <i>Technical Requirements</i>	57
Gambar 4.2 Rancangan Konsep 1 <i>Pin Lock</i>	58
Gambar 4.3 Konsep 2 <i>Double C Clip</i>	60
Gambar 4.4 Konsep 3 <i>Slide Lock</i>	62
Gambar 4.5 Komponen <i>Beam</i>	68
Gambar 4.6 Macam Komponen <i>Beam</i>	68
Gambar 4.7 Gambar Komponen <i>Lock</i>	69
Gambar 4.8 3D Macam Komponen <i>Lock</i>	70
Gambar 4.9 Gambar Komponen <i>Pin Lock</i>	70
Gambar 4.10 3D Macam Komponen <i>Pin Lock</i>	71
Gambar 4.11 Sistem Penjepit Pada <i>Lock</i>	72
Gambar 4.12 Lubang <i>Pin</i> Tengah Pada <i>Lock</i>	72
Gambar 4.13 <i>Pin</i> Komponen <i>Pin Lock</i>	73
Gambar 4.14 Variabel <i>Print</i> Mainan <i>Beam</i> Pada <i>Slicer</i>	74
Gambar 4.15 Variabel <i>Print</i> Komponen <i>Lock</i> Pada <i>Slicer</i>	75

Gambar 4.16 Variabel <i>Print</i> Komponen <i>Pin Lock</i> Pada <i>Slicer</i>	75
Gambar 4.17 Prototipe Akhir Komponen <i>Beam</i>	76
Gambar 4.18 Prototipe Akhir Komponen <i>Lock</i>	76
Gambar 4.19 Prototipe Akhir Komponen <i>Pin Lock</i>	77
4.20 Rancangan Jembatan Mainan Edukasi Struktur.....	79
Gambar 4. 21 Dimensi Rancangan Jembatan Mainan Edukasi Struktur	79
Gambar 4.22 <i>House Of Quality</i> Mainan Edukasi Struktur	85

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Contoh Tabel Penilaian Konsep.....	11
Tabel 3.1 Waktu Penelitian	32
Tabel 3.2 Spesifikasi Mesin 3D Printer Bambu Lab P1P	42
Tabel 3.3 Spesifikasi Filamen PLA	43
Tabel 3.4 <i>Voice Of Customer</i> dan urutan nilai kepentingannya.....	39
Tabel 3. 5 Penilaian Konsep.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.1 Matriks Kolerasi.....	52
Tabel 4.2 Penilaian Konsep.....	65
Tabel 4.3 Spesifikasi 3 Macam Komponen <i>Beam</i>	69
Tabel 4.4 Spesifikasi 3 Macam <i>Pin Lock</i>	71
Tabel 4.7 Spesifikasi 3 Macam Komponen <i>Beam</i>	77
Tabel 4.8 Spesifikasi 3 Macam Komponen <i>Lock</i>	77
Tabel 4.9 Spesifikasi 3 Macam Komponen <i>Pin Lock</i>	78
Tabel 4. 10 Jumlah Komponen & Harga Rancangan Jembatan Mainan Edukasi	80
Tabel 4.11 Target Spesifikasi.....	81
Tabel 4.12 Matriks Rencana Pasar	84

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada anak usia 13 – 16 tahun yang sedang duduk di sekolah menengah pertama (SMP), kegiatan bermain melatih untuk mengembangkan kemampuan berimajinasi dan pengimplementasian pelajaran di sekolah ke dunia kerja pada masa depannya. Bermain untuk memenuhi kebutuhan kognitif membutuhkan media supaya maksud dari bermain dan belajar tersebut dapat terpenuhi. Dalam merancang media belajar untuk anak usia dini berbeda dengan media belajar untuk anak usia sekolah. (Herlinda & Mardiana, n.d., 2019). Pada anak usia sekolah tujuan terutama media belajar ini adalah untuk mengembangkan kemampuan interpersonal, komunikasi, dan penalaran. Namun dalam perancangan media belajar dengan tujuan meningkatkan kemampuan kognitif, melatih motorik, dan imajinasi. Jenis alat bermain memerlukan kemampuan mengedukasi pemainnya (Wiwik Pratiwi, 2017). Memperkenalkan bermain dan mainan yang memiliki peran penting dalam pendidikan anak dan menggunakannya lebih efektif dalam pendidikan nilai dan moral bersama dengan bidang pengembangan lainnya sangat penting (ÖNDER, 2018). Mainan harus mengandung STEM, yaitu sains, teknologi, *engineering*, dan matematika.

Mainan harus mengandung STEM, yaitu sains, teknologi, *engineering*, dan matematika. STEM mengintegrasikan antara sains, teknologi, teknik dan

matematika dalam satu pembelajaran. Pembelajaran berbasis STEM dapat melatih siswa dalam menerapkan pengetahuannya untuk membuat desain sebagai bentuk pemecahan masalah terkait lingkungan dengan memanfaatkan teknologi (Permanasari, 2016). STEM membuat pembelajaran lebih bermakna dan menyenangkan, pada pembelajaran STEM siswa tidak hanya dilatih untuk memahami konsep. Setelah siswa memahami konsep, siswa direkayasa untuk menghasilkan teknologi konsep matematika dan sains yang telah mereka pelajari (Kurniasih et al., 2020). Mainan ini dapat dimanufaktur menggunakan *3D printing* terutama pada mainan anak-anak yang sering rusak.

Kelebihan yang dimiliki produk hasil dari *3D printing* adalah dapat dimanufaktur secara terus-menerus dengan harga relatif terjangkau. 3D printer ini dapat membuat komponen mainan dalam jumlah yang banyak dan presisi jika dibandingkan dengan pembuatan mainan secara manual (Daywin et al., 2019). Selain itu, produk mainan yang rusak dapat dibuat kembali dalam waktu yang relatif singkat dengan menggunakan mesin *3D printer*. Mainan yang dimanufaktur menggunakan *3D printer* dapat diatur kepadatannya, sehingga dapat dimanufaktur produk dengan material yang lebih sedikit.

Dalam membuat produk menggunakan *3D printer* ada Batasan ukuran yang dapat dibuat, dikarenakan volume produksi memiliki skala terbatas. Permukaan produk hasil *3D printing* dapat terbilang kasar (Gonzalez-Gomez et al., 2012), dikarenakan proses *3D printing* dilakukan secara lapis demi lapis. Jenis material yang dapat di *3D print* juga terbatas, material yang dapat di *print* antara lain *polylactid acid* (PLA), *crylonitrile butadiene styrene* (ABS), Nylon, PET, *Polycarbonate*, dan *thermoplastic elastomers* (TPE). Toleransi

dimensi pada 3D. Apabila hanya ingin membuat komponen yang kecil maka jumlah energi listrik yang dikeluarkan tetap banyak (Attaran, 2017). *3D Printer* ini bisa digunakan untuk memproduksi berbagai macam benda, termasuk mainan anak-anak.

Menurut penelitian (Prihadianto & Darmo, 2021) yang menggunakan *3D printing* untuk memmanufaktur mainan miniatur bus dengan pembuatan manual dan *3D Printing* yang mendapatkan hasil bahwa miniatur bus dapat dibuat 76% lebih cepat dengan *3D Printing* dibandingkan manual. Berdasarkan penelitian terkait maka memungkinkan untuk membuat mainan edukasi *building block* menggunakan *3D Printer* Mainan seperti apa yang mereka butuhkan, material yang dibutuhkan, dan harga yang sesuai dengan nilai yang diberikan oleh mainan tersebut. Untuk bisa menilai dan menyesuaikan kebutuhan konsumen dengan kebutuhan teknis yang dibutuhkan, maka dibutuhkan metode *quality function deployment* (QFD).

Quality function deployment (QFD) Menurut (Abdul Rahman, 2012) QFD adalah suatu metode yang digunakan untuk perencanaan dan pengembangan produk terstruktur yang digunakan untuk menentukan kebutuhan dan keinginan konsumen dengan jelas, dan mengevaluasi setiap produk yang diinginkan atau juga kapasitas pelayanan yang diberikan secara sistematis agar dapat memenuhi keinginan dan kebutuhan para konsumen. QFD merupakan pendekatan sistematis yang menentukan permintaan konsumen kemudian menerjemahkannya secara akurat ke dalam desain teknis, manufaktur, dan perencanaan produksi yang tepat (Andriani et al., 2019). Maka penelitian akan

menggabungkan konsep mainan edukasi STEM, teknologi 3D *printing*, dan metode QFD untuk membuat produk mainan edukasi *building block*.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah di atas dapat dirumuskan permasalahannya adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana konsep dan spesifikasi mainan edukasi struktur yang dibutuhkan oleh pasar dan konsumen saat ini?
2. Bagaimana arsitektur desain dari mainan edukasi struktur STEM?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan konsep produk mainan edukasi struktur *building block* menggunakan metode QFD.
2. Menentukan spesifikasi produk mainan edukasi struktur *building block* menggunakan metode QFD.
3. Membuat desain mainan edukasi struktur *building block* dalam bentuk rancangan dari komponen mainan setelah menerjemahkan keinginan konsumen pada metode QFD.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang terdapat dalam penelitian perancangan produk mainan edukasi building block menggunakan mesin produksi 3d printer yaitu:

1. 3D printer memiliki volume produksi maksimal sebesar 25 cm³.
2. Data yang terima dari konsumen tidak mengandung bentuk dari desain mainan yang akan dibuat.
3. Desain akhir dari mainan berupa bentuk modul rancangan dari tiap komponen mainan.
4. Konsep dari mainan diambil dari desain mainan merek X sehingga tidak perlu melakukan sketsa kembali.
5. Yang dihasilkan dari penelitian ini hanya konsep dari produk.
6. Kondisi desain dapat mempengaruhi kemampuan 3D printing. Apabila desain memiliki banyak *overhang* maka akan menghasilkan filamen yang menggantung pada produk.
7. Hasil akhir dari desain tidak dilakukan survey kembali.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika Penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

I. PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang masalah secara jelas, tujuan yang memaparkan diadakannya penelitian ini, batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini agar hasil penelitian lebih terarah, sistematika penulisan berupa format yang dipakai pada penulisan laporan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka berisikan landasan teori yang menunjang pada penelitian dan merupakan teori-teori dasar dari proses CFD.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab III berisi tempat dan waktu penelitian yang akan dilakukan serta alur tahapan pelaksanaan penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang hasil proses torefaksi dan pembahasan analisis data-data yang telah didapatkan saat maupun setelah pengujian.

V. SIMPULAN DAN SARAN

Berisikan tentang kesimpulan dan saran yang dapat diambil atau diberikan atas hasil penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perancangan

Secara umum, perancangan merujuk pada proses merencanakan, memikirkan, dan mengatur suatu konsep atau rencana dengan tujuan untuk mencapai suatu hasil yang diinginkan oleh perancang. Ini bisa berlaku dalam berbagai konteks, mulai dari proses desain produk, perancangan sistem produk, perancangan grafis, hingga perancangan arsitektur. Tujuan utama perancangan adalah untuk menciptakan sesuatu yang berfungsi dengan baik, memenuhi tujuan yang diinginkan, dan seringkali memiliki unsur-unsur estetika yang menarik dan berkarakter. Perancangan melibatkan serangkaian langkah, seperti perencanaan awal, pemikiran kreatif, penelitian, analisis, dan seringkali pengembangan prototipe atau model untuk menguji ide-ide sebelum menerapkannya dalam produk atau solusi akhir. Pengujian prototipe ini bisa dilakukan dengan analisis *finite element method* ataupun dengan pengujian secara langsung. Ini adalah proses yang penting dalam berbagai disiplin ilmu dan industri karena dapat memastikan bahwa hasil akhir memenuhi standar yang diinginkan dan memuaskan kebutuhan pengguna atau pelanggan (Wiraghani & Prasnowo, 2017).

Perancangan produk memiliki beberapa tahapan, menurut (Irvan, 2011) perancangan produk terdiri dari 6 fase yaitu :

1. Pada fase ini dilakukan kegiatan perencanaan yang sering dirujuk sebagai 'zerofase', yaitu kegiatan pendahuluan yang meliputi persetujuan proyek dan proses peluncuran pengembangan produk aktual.
2. Fase 1. Pengembangan Konsep. Pada fase ini, kebutuhan pasar target diidentifikasi, alternatif-alternatif konsep produk dibangkitkan dan dievaluasi, dan satu atau lebih konsep dipilih untuk pengembangan dan percobaan pada fase-fase berikutnya.
3. Fase 2. Perancangan Tingkatan Sistem. Fase ini mencakup definisi arsitektur produk dan uraian produk menjadi subsistem-subsistem serta komponen-komponen. Gambaran rakitan akhir untuk sistem produksi didefinisikan dalam fase ini. Output dari fase 2 ini mencakup tata letak bentuk produk, spesifikasi secara fungsional dari tiap subsistem produk, serta diagram aliran.
4. Fase 3. Perancangan Rinci. Dalam fase ini mencakup spesifikasi lengkap dari bentuk, material dan toleransi-toleransi dari seluruh komponen unik pada produk dan identifikasi seluruh komponen standar yang dibeli dari pemasok. Rencana proses dinyatakan dan peralatan produksi dirancang untuk tiap komponen yang dibuat dalam sistem produksi. Output dari fase ini adalah pencatatan pengendalian untuk produk, spesifikasi komponen-komponen yang dibeli, serta rencana proses untuk pabrikan dan perakitan produk.
5. Fase 4. Pengujian dan Perbaikan Fase ini melibatkan konstruksi dan evaluasi dari bermacam-macam versi produksi awal produk. Prototipe awal (alpha) dibuat menggunakan komponen-komponen dengan bentuk

dan jenis material pada produksi sesungguhnya, namun tidak memerlukan proses pabrikasi dengan proses yang sama dengan yang dilakukan pada proses pabrikasi sesungguhnya. Prototipe alpha diuji untuk menentukan apakah produk akan bekerja sesuai dengan yang direncanakan dan apakah produk memenuhi kebutuhan kepuasan (spesifikasi/kualitas) konsumen utama. Prototipe berikutnya (beta) dibuat dengan komponen-komponen yang dibutuhkan pada produksi namun tidak dirakit dengan menggunakan proses perakitan akhir seperti pada perakitan sesungguhnya. Prototipe beta dievaluasi secara internal dan juga diuji oleh konsumen dengan menggunakannya secara langsung. Sasaran dari prototipe beta adalah untuk menjawab pertanyaan mengenai kinerja dan keandalan dalam rangka mengidentifikasi kebutuhan perubahan-perubahan secara teknik untuk produk akhir.

6. Fase 5. Peluncuran Produk Fase ini dikenal juga sebagai fase produksi awal. Pada fase ini produk dibuat dengan menggunakan sistem produksi sesungguhnya. Tujuan dari produksi awal adalah untuk melatih tenaga kerja dalam memecahkan permasalahan yang mungkin timbul pada proses produksi sesungguhnya. Produk-produk yang dihasilkan selama produksi awal, akan disesuaikan dengan keinginan pelanggan dan secara hati-hati dievaluasi untuk mengidentifikasi kekurangan-kekurangan yang timbul. Peralihan dari produksi awal menjadi produksi sesungguhnya berjalan melalui tahap demi tahap. Pada beberapa titik dalam masa peralihan ini, produk diluncurkan dan mulai didistribusikan.

2.2 Konsep

Konsep produk merupakan gambaran atau perkiraan mengenai teknologi, cara kerja, dan bentuk produk. Tujuan penyusunan konsep adalah menggali lebih jauh area konsep-konsep produk yang mungkin sesuai dengan kebutuhan konsumen. Konsep produk juga merupakan bayangan singkat bagaimana produk memuaskan kebutuhan konsumen (Irvan, 2011). Proses penyusunan konsep terdiri dari 4 langkah, yaitu:

1. Pemaparan masalah, dengan menjelaskan fungsi.
2. Pencarian solusi secara eksternal.
3. Pencarian solusi secara internal.
4. Penggalan secara sistematis dengan pohon klasifikasi dan tabel kombinasi.

Setelah 1 atau lebih konsep sudah ditentukan maka dilanjutkan dengan pemilihan konsep. Pemilihan konsep merupakan proses dimana beberapa konsep dianalisis kemudian dieliminasi untuk mengidentifikasi konsep yang paling menjanjikan. Pemilihan konsep terdiri atas dua tahap, yaitu:

1. Penyaringan konsep yang bertujuan untuk mempersempit jumlah konsep secara cepat dan untuk memperbaiki konsep.
2. Penilaian konsep yang dilakukan dengan memberikan bobot kepentingan relative untuk setiap kriteria seleksi dan memfokuskan pada hasil perbandingan yang lebih baik dengan penekanan pada setiap kriteria.

Langkah kerja dalam penilaian konsep produk manufaktur adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan matriks seleksi. Pengembang produk harus menyiapkan matriks untuk pemilihan konsep. Matriks ini dibutuhkan untuk setiap konsep untuk mendapatkan penilaian. Matriks dibuat terstruktur, sehingga akan memudahkan pengembang produk. Beberapa contoh kriteria isi matriks, yaitu:
 - a. Fleksibilitas penggunaan
 - b. Tidak pecah saat jatuh
 - c. Mengambang ketika jatuh ke air
 - d. Mudah digenggam
 - e. Biaya bahan baku murah
 - f. Menarik untuk dipandang
2. Menilai konsep. Konsep yang sudah disiapkan kemudian dinilai oleh pengembang. Penilaian ini dilakukan secara objektif dengan menggunakan matriks yang sudah dibuat. Penilaian konsep dilaksanakan agar perbandingan antar konsep dapat dibandingkan lebih baik. Pada tahap ini pengembang memberikan bobot kepentingan relative untuk setiap kriteria matriks (Irawan, 2017).

Tabel 2. 1 Contoh Tabel Penilaian Konsep

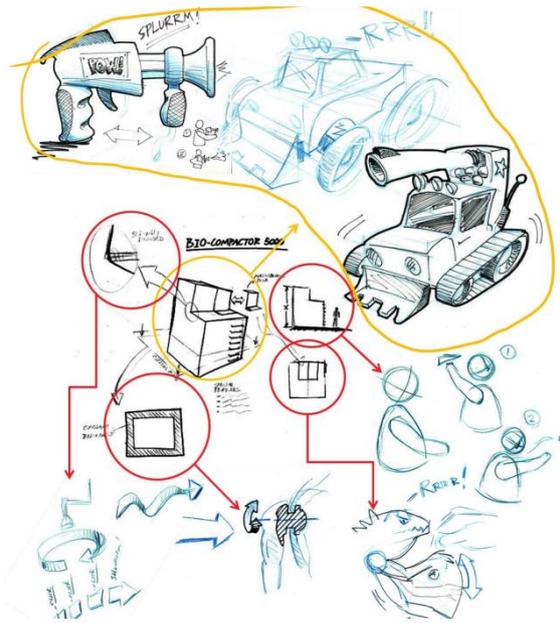
No	Kriteria	Bobot (%)	Alternatif Konsep							
			1		2		3		4	
			R	N	R	N	R	N	R	N
1	Memberikan kemudahan dalam menyimpan sepatu	11	4	0,44	4	0,44	4	0,44	4	0,44
2	Kemudahan mengoperasikan yang menghemat energi secara aman dan nyaman	7	4	0,28	4	0,28	4	0,28	4	0,28
3	Menjaga agar sepatu tetap awet	10	3	0,30	3	0,30	3	0,30	2	0,20
4	Memastikan sepatu dapat terlindung dari hujan dan debu	15	3	0,45	3	0,45	2	0,30	2	0,30
5	Memastikan rak sepatu agar tidak bau	11	4	0,44	4	0,44	4	0,44	4	0,44
6	Memastikan sepatu selalu bersih	8	2	0,16	2	0,16	4	0,32	4	0,32
7	Memberikan kenyamanan agar rak sepatu tidak mudah rusak	18	3	0,54	4	0,72	2	0,36	4	0,72
8	Memastikan material yang digunakan ringan dan kokoh	20	3	0,60	3	0,60	2	0,40	2	0,40
Total nilai peringkat			3,03		3,39		3,02		3,10	
Kembangkan?			tidak		terpilih		tidak		tidak	

2.3 Proses Desain

Proses desain adalah langkah-langkah yang ditempuh untuk menciptakan solusi kreatif terhadap sebuah masalah atau tujuan tertentu. Tahapan proses desain dapat berbeda-beda tergantung pada konteksnya, tetapi secara umum, ada beberapa langkah umum yang sering ditempuh dalam proses desain (Torenvliet, 2008). Berikut adalah beberapa tahapan dalam proses desain:

2.3.1 *Sketsa Awal*

Sketsa desain biasanya sederhana dan kasar. Tujuannya adalah untuk menangkap gagasan secara cepat tanpa perlu detail yang rumit. Ide-ide awal yang berasal dari bacaan, observasi, wawancara dan analisis pertama - tama dibuat dan dikomunikasikan melalui sketsa kasar. Pada tahap ini, tujuannya adalah untuk fokus pada ide-ide yang luas, dan tidak terpaku pada satu ide saja. Ide awal termasuk berbagai strategi untuk menargetkan bentuk dari desain yang akan dibuat. Beberapa fitur utama yang muncul dalam sketsa, seperti yang dirinci dalam kriteria fitur solusi, termasuk kemampuan beradaptasi, kesederhanaan penggunaan, dan koordinasi bilateral. Agar mainan ini menarik bagi para pemangku kepentingan, termasuk orang tua, guru, dan vendor. Gambar dibawah menunjukkan contoh dari sketsa desain dari sebuah mainan.

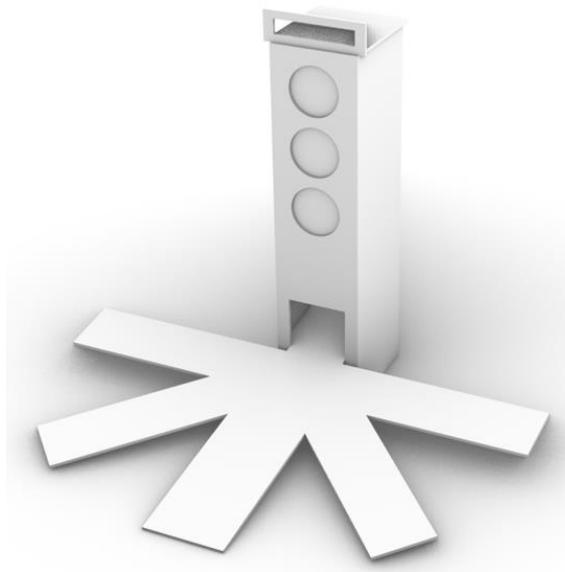


Gambar 2.1 Sketsa Kasar

(Taborda et al., 2012)

2.3.2 Pembuatan CAD Model

Setelah sketsa, tujuan selanjutnya adalah memvisualisasikan ide dalam bentuk tiga dimensi melalui model CAD. CAD Model (*Computer-Aided Design Model*) adalah representasi digital dari objek fisik atau sketsa yang dibuat dengan bantuan perangkat lunak desain komputer. CAD model digunakan dalam berbagai industri dan disiplin untuk merancang, mengembangkan, dan menganalisis produk, bangunan, sistem, atau komponen lainnya. CAD model adalah gambaran digital yang menggambarkan desain objek, struktur, atau sistem dengan akurat. Ini mencakup informasi geometris, dimensi, properti materi, dan seringkali aspek lain seperti tekstur, warna, dan animasi.



Gambar 2.2 CAD Model

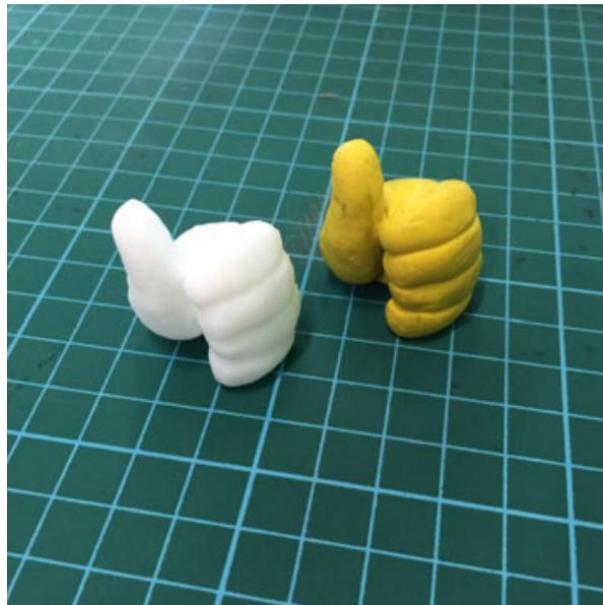
(Gatta, 2023)

2.3.3 Pembuatan Prototipe

Berdasarkan sketsa dan model CAD, langkah selanjutnya adalah membuat ide mainan utama yang muncul dalam bentuk 3 dimensi untuk memahami bentuk, gerakan, dan skala. Prototipe ini bertujuan untuk menguji dan mengevaluasi konsep, desain, dan fungsi produk sebelum memasuki tahap produksi yang lebih besar. Pembuatan prototipe adalah langkah penting dalam pengembangan produk karena membantu dalam mengidentifikasi masalah potensial, memvalidasi desain, mengumpulkan umpan balik dari pengguna, dan memastikan bahwa produk akhir sesuai dengan kebutuhan dan harapan. Prototipe produk dapat dibuat dengan *soft foam*, Kardus, kayu, atau dengan 3D printer (Zhang et al., 2017)

2.3.4 Pembuatan Prototipe Akhir

Hasil akhir dari beberapa iterasi prototipe adalah prototipe akhir. Prototipe final mengikuti prototipe tiap iterasi dari segi desain dan perakitan, memanfaatkan model CAD. Prototipe akhir menyelesaikan masalah ukuran, skala, dan toleransi pada ukuran tiap komponen (Camburn et al., 2017).



Gambar 2.3 Prototipe Akhir dan Prototipe Awal

(Camburn et al., 2017)

2.4 Prototipe

Prototipe produk adalah elemen penting dalam pengembangan produk yang berperan dalam membantu tim pengembangan merancang, menguji, dan memahami konsep produk yang sedang dikembangkan. Prototipe adalah representasi awal dari ide produk, baik dalam bentuk visual maupun fisik. Salah satu jenis prototipe yang umum digunakan adalah prototipe fungsional,

yang memungkinkan tim untuk menguji fungsi produk sebelum masuk ke tahap produksi. Prototipe produk membantu mengidentifikasi masalah potensial dalam desain atau fungsi produk, sehingga meminimalkan risiko pengembangan dan menghemat waktu serta biaya (Cooper, 2004).

Dalam pengembangan produk, proses pembuatan prototipe melibatkan tahapan identifikasi kebutuhan produk, perancangan prototipe, pembuatan prototipe dengan bahan dan metode yang sesuai, serta pengujian prototipe. Umpan balik dari pengujian digunakan untuk memodifikasi prototipe guna memperbaiki desain dan fungsi produk. Selain itu, prototipe juga berperan dalam memudahkan komunikasi antara tim pengembangan produk dan stakeholder, seperti pemegang saham dan investor, sehingga semua pihak memiliki pemahaman yang lebih baik tentang produk yang akan dibuat.

Sementara prototipe produk dapat berupa model fisik atau perangkat lunak yang berfungsi, penting untuk memilih jenis prototipe yang sesuai dengan tujuan pengembangan produk. Dalam proses ini, prototipe visual dapat digunakan untuk menggambarkan tampilan dan antarmuka produk, sementara prototipe fungsional digunakan untuk menguji fungsi produk. Semakin awal masalah dan kekurangan dalam desain atau fungsi produk diidentifikasi, semakin efisien dan ekonomis pengembangan produk tersebut. Dalam dunia bisnis yang kompetitif, prototipe produk memegang peranan penting dalam kesuksesan produk baru (Gibson, 2022).

2.5 Produk

Produk memiliki arti yang penting bagi semua perusahaan dan penjual karena tanpa adanya produk, Perusahaan dan penjual tidak akan dapat melakukan apapun untuk penjualannya. Menurut (Kotler dan Amstrong, 2001) produk adalah, "segala sesuatu yang dapat ditawarkan ke pasar untuk mendapatkan perhatian, dibeli, digunakan, atau dikonsumsi yang dapat memuaskan keinginan atau kebutuhan". Dengan kalimat tersebut produsen memahami bahwa produk harus dapat digunakan dan memuaskan konsumen yang akan membeli produk kita. Pada saat ini yang menjadi sebuah pertimbangan utama saat membeli produk yang akan dilakukan konsumen adalah membandingkan nilai-nilai atribut pada setiap produk yang akan dibeli.

(Tjiptono, 2016) Menyatakan atribut produk adalah hal yang dipandang penting untuk memutuskan pembelian suatu produk, jasa, atau barang. Ada tiga hal atribut suatu produk yang penting yaitu fitur produk (product features), desain produk (product design) dan kualitas produk (product quality). Fitur produk merupakan sebuah gambaran produk yang berfungsi untuk membedakan suatu produk dengan produk lainnya. Desain produk merupakan penampilan atau style dalam sebuah produk tersebut guna untuk memperbaiki kinerja, kemudia untuk mengurangi biaya produksi dan menjadikan keunggulan untuk bersaing dengan produk lainnya. Dan fitur produk yang merupakan ciri fungsional dari sebuah produk. Salah satu cara bersaing yang paling bermanfaat yaitu dengan cara perusahaan tersebut menghasilkan pembeli utamayang menciptakan dan mengenalkan fitur baru yang memiliki nilai di pasarnya (Alamsyah & Saino, 2021).

Dalam konteks teknik, produk merujuk kepada hasil dari proses perancangan dan produksi yang menghasilkan barang fisik atau sistem yang memenuhi kebutuhan dan tujuan tertentu. Produk dalam konsep teknik mencakup beragam aspek, termasuk desain, fungsi, kinerja, keandalan, keamanan, dan efisiensi. Pada dasarnya, produk adalah solusi teknis yang diciptakan untuk memecahkan masalah atau memenuhi keperluan dalam berbagai sektor, mulai dari teknologi informasi hingga industri manufaktur. Ketika merancang produk dalam teknik, para insinyur dan profesional teknik berusaha untuk mencapai keseimbangan antara kualitas, biaya, dan kinerja. Produk harus memenuhi standar tinggi dalam hal performa dan keandalan, sambil tetap terjangkau secara ekonomis. Selain itu, pemikiran inovatif dan perkembangan teknologi juga memainkan peran kunci dalam meningkatkan produk yang ada dan menciptakan produk baru yang lebih efisien dan efektif (Gibson, 2022).

2.6 Mainan Edukasi STEM

STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) adalah suatu media pembelajaran yang dianggap mampu untuk mengintegrasikan keterampilan (*hard skills* dan *soft skills*) yang diperlukan oleh anak yang sedang belajar (Nurjanah, 2020). STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) mendorong anak untuk membangun pengetahuan tentang dunia di sekeliling anak melalui kegiatan mengamati, menyelidiki, dan bertanya (Ata Aktürk et al., 2017). STEM dianggap sebagai metode belajar yang berharga dan bermakna bagi anak. Tenaga pengajar meyakini bahwa pembelajaran STEM akan membuat siswa lebih aktif dan berfikir kritis dalam

pembelajarannya (Tippett & Milford, 2017). Contoh dari mainan edukasi yang mengandung STEM adalah seperti gambar dibawah.



Gambar 2.4 *Mainan* STEM Pesawat

(Migotuwio, 2020)

Pembelajaran pada anak usia sekolah untuk menstimulasi kemampuan berkreasi dilakukan dengan dengan berbagai program yang bervariasi. Pembelajaran yang cocok diterapkan pada abad 21 adalah STEM karena kandungan sains, teknologi, *engineering*, dan matematika. Sains didefinisikan sebagai suatu pengetahuan yang diperoleh secara sistematis melalui observasi, studi, dan eksperimen. Ketika diterapkan pada dunia alami, itu mencakup fisika, kimia, dan biologi serta turunan dan cabang mereka seperti astronomi, geologi, oseanografi, ekologi, botani, dan zoologi. Teknologi itu istilah lain dari alat. Orang dewasa berpikir teknologi itu berupa barang elektronik atau peralatan digital seperti kamera, komputer atau mesin-mesin canggih di pabrik. Padahal krayon, pensil, penggaris, dan gunting juga alat. Peralatan apapun yang digunakan anak untuk bermain adalah teknologi, dari mulai teknologi sederhana sampai pada teknologi modern, dari mesin-mesin sederhana yang

dapat ditemui anak dalam kehidupan sehari-hari. Perlu dipastikan bahwa teknologi tersebut sesuai usia anak dan dapat digunakan sesuai kemauan anak serta memberikan kesempatan untuk memecahkan masalah (Jackman, 2009).

Engineering (Teknik) dapat diartikan sebagai sebuah rekayasa terhadap teknologi. Engineering dimulai dengan mengidentifikasi masalah, kemudian mencoba memecahkan masalah itu. Sebagai contoh, anak-anak mengalami proses ketika mereka mencoba mencari tahu bagaimana membuat fondasi yang kuat agar bangunan balok mereka dapat lebih tinggi. Matematika mencakup berbagai subbidang, keterampilan, dan sistem, yang banyak di antaranya sesuai untuk dipelajari dalam beberapa bentuk oleh anak kecil. Di antara topik yang lebih umum diajarkan adalah klasifikasi, seriasi, perhitungan, pengukuran, geometri, grafik, dan aritmatika (Krogh, S.L & Slentz, K.L., 2008).



Gambar 2.5 Mainan LEGO

(LEGO.com)

Mainan edukasi yang paling umum ditemukan adalah LEGO. Lego merupakan salah satu mainan STEM yang berwujud *building block* yang dapat dirancang sesuai keinginan pemainnya. Mainan LEGO mampu dirancang ke berbagai bentuk sehingga dapat mengasah kemampuan berimajinasi dan kemampuan bereksperimen pada anak yang memainkannya. anak mengkontruksi pengetahuannya berdasarkan pengalamannya. Sebagaimana halnya mainan berbentuk balok dan mainan konstruktif lainnya, lego merupakan permainan konstruktif bermanfaat bagi anak untuk mengembangkan kognitifnya. Dari permainan itu anak bisa belajar tentang konsep besar kecil, tinggi rendah, panjang pendek, dan sebagainya. Jika balok besar diletakkan di atas balok kecil, apa jadinya. Dari beberapa balok ternyata bisa disusun jadi beragam bentuk yang ia inginkan, seperti rumah, robot, jembatan, dan sebagainya. Hal sekecil itu secara tidak langsung anak belajar mengenai perencanaan dan pemecahan masalah (Santi, 2013).

2.7 3D Printing

3D *Printing* atau aditif manufaktur adalah proses untuk membuat objek 3D dengan bentuk apa pun dari model 3D atau sumber data elektronik lainnya melalui proses tambah dimana lapisan-lapisan material berturut-turut ditempatkan di bawah kendali komputer. Pada tahun 1984 Charles Hull menciptakan sebuah teori yaitu teori stereolithography yaitu proses pencetakan yang memungkinkan membuat objek 3D yang akan dibuat dari data digital. Teori stereolithography populersampai akhir tahun 1980an. Mesin Printer 3D juga dikenal sebagai *Additive Manufacturing* (AM), mengacu pada proses yang

digunakan untuk membuat objek tiga dimensi dimana lapisan material dibentuk di bawah kendali komputer untuk membuat objek. Benda bisa hampir sama bentuk atau geometri dan biasanya diproduksi dengan menggunakan data model digital dari model 3D atau sumber data elektronik lainnya seperti file *Additive Manufacturing File* (AMF) (Kumar 2022).

STereoLithography (STL) adalah salah satu jenis file yang paling umum yang dapat dibaca oleh printer 3D. Untuk menciptakan sebuah objek membutuhkan model 3D secara digital yang didapatkan dengan memindai satu set model 3D, atau menggambar dengan menggunakan program 3D desain seperti misalnya program AutoCAD, 3dMax, SketchUp, Inventor dan lainnya, serta juga dapat dengan men-download dari internet.

Mesin cetak 3D merupakan salah satu alat cetak yang relevan dengan kondisi revolusi industri 4.0. Peralatan ini sebenarnya sudah berkembang sejak lama. Awal mula terciptanya mesin cetak 3D (*3D Printing*) yaitu pada tahun 1980 oleh Dr. Kodama, salah satu ilmuwan yang berasal dari Jepang. Alat pertama yang dibuat yaitu alat yang mampu mencetak sebuah produk dalam bentuk tumpukan lapisan-lapisan dari hasil pembuatan gambar dalam bentuk file digital (Rusianto dkk, 2019).



Gambar 2.6 Mesin Printer FDM

(Bambulab.com)

3D printer yang paling umum digunakan adalah printer jenis FDM. Awal mula terciptanya mesin cetak 3D (*3D Printing*) yaitu pada tahun 1980 oleh Dr. Kodama, salah satu ilmuwan yang berasal dari Jepang. Alat pertama yang dibuat yaitu alat yang mampu mencetak sebuah produk dalam bentuk tumpukan lapisan-lapisan dari hasil pembuatan gambar dalam bentuk file digital. FDM merupakan teknologi *additive manufacturing* yang digunakan dalam pemodelan, prototipe dan produksi. Dalam proses pencetakan FDM filament diekstrusi atau dilelehkan oleh nozzle (Alsoufi, et al., 2017). *Fused Deposition Modeling* (FDM) merupakan salah satu metode yang cukup populer dalam AM (*Additive Manufacturing*) dimana produk yang dihasilkan melalui proses ini berpotensi untuk dapat bersaing dengan metode manufaktur konvensional (*injection moulding*). Aplikasi FDM sangat luas meliputi bidang medis, desain cetakan, hingga otomotif dan aeronautics. Hingga saat ini, metode FDM telah digunakan secara luas pada proses *3D printing* karena penggunaannya yang

mudah, biayanya lebih rendah, ramah lingkungan serta lebih mudah dalam proses pengembangan produk, *prototyping* dan manufaktur (Andriyansyah, et al., 2018).

2.8 *Quality Function Deployment (QFD)*

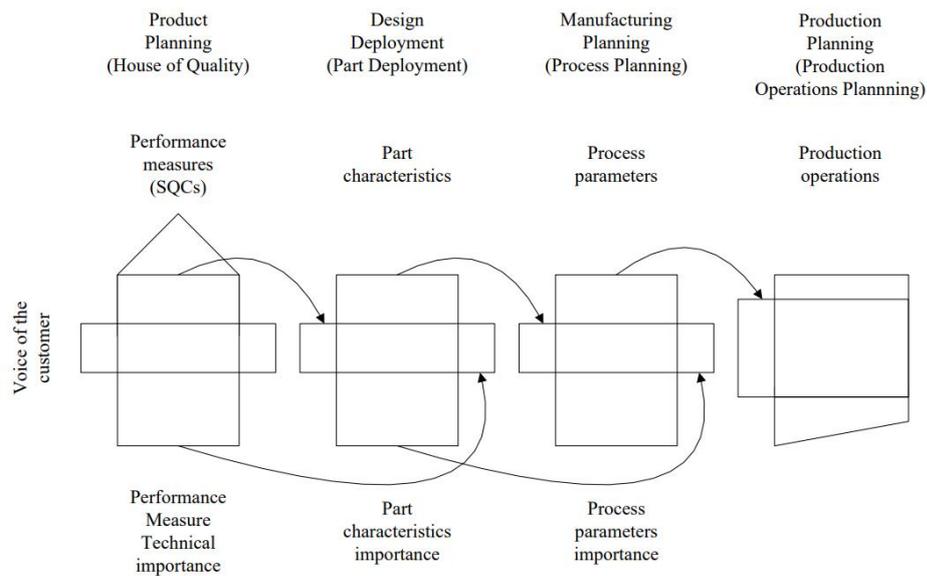
Akao, penemu QFD mengartikan QFD adalah “sebuah metode untuk mengembangkan kualitas desain dengan tujuan memuaskan konsumen lalu menerjemahkan keinginan konsumen ke dalam bentuk desain dengan tetap mempertahankan poin poin utama jaminan kualitas yang akan digunakan sepanjang fase produksi” (Chan & Wu, 2002). QFD juga merupakan sebuah alat efektif untuk menerjemahkan kebutuhan pelanggan (*customer requirements*) menjadi persyaratan teknis bagi desainer dalam pembuatan produknya. QFD adalah teknik yang berguna ketika dalam perancangan produk membutuhkan suara dari konsumen untuk memaksimalkan kepuasan pelanggan. QFD pertama ditemukan di Jepang untuk menangani masalah desain produk dalam menerjemahkan keinginan konsumen menjadi spesifikasi dari produk yang akan buat.

Quality Function Deployment atau QFD juga merupakan alat untuk memfokuskan tim perancang produk untuk memenuhi kebutuhan konsumen selama proses pengembangan produk. QFD terdiri dalam beberapa tahap. Dalam tiap tahap, terdapat syarat yang perlu diidentifikasi dan karakteristik teknis yang perlu ditentukan untuk memenuhi syarat tersebut. QFD juga membantu dalam menyusun matriks hubungan antara parameter dengan

elemen-elemen yang perlu diperhatikan selama proses pengembangan produk (Dieter & Schmidt, 2013).

Dalam QFD, matriks yang saling berhubungan dibuat untuk menentukan hubungan antara keinginan pelanggan dan parameter teknik produk. Output dari proses ini adalah respon teknis dan peringkat kepentingan yang diterima. Kombinasi pemasaran dan peringkat berdasarkan tanggapan teknis yang telah dibuat. Tujuan dari perencanaan strategi pemasaran adalah untuk memberikan dan menggabungkan sumber daya pemasaran dengan kegiatan yang berkaitan dengan pencapaian tujuan untuk memperoleh keuntungan dari kompetitor. Dalam perencanaan strategi pemasaran, banyak hal yang harus dipertimbangkan memeriksa apakah strategi yang akan digunakan akan memenuhi tujuan yang diinginkan (Robbika & Baroto, 2017).

Menurut ISO 16355-1:2021 alur dari metode QFD memiliki berbagai macam tahapan. Dimana pada tahapan pertama adalah tahapan identifikasi keinginan konsumen yang akan dikorelasikan dengan *technical requirement* yang akan menghasilkan persyaratan produk. Tahap kedua adalah pengembangan produk (*part deployment*) untuk mengidentifikasi *part/assemblies* dan menentukan kualitas, teknologi, harga, dan fungsi dari komponen. Tahap ketiga adalah perencanaan proses yang berfungsi untuk menentukan aliran dari proses produksi dan mengembangkan persyaratan peralatan produksi. Tahap yang terakhir adalah perencanaan produk untuk merencanakan penjualan, termasuk pembuatan *startup*, pembungkusan, logistik, *customer support*, dan siklus dari produk yang sudah dijual (International Organization for Standardization, 2021).



Gambar 2.7 Empat Macam Tahap QFD

(Syafei. 2017)

2.9 House of Quality (Matriks Perencanaan Produk)

Untuk mendukung metode QFD, *House of Quality* (HoQ) menggunakan matriks yang menghubungkan keinginan konsumen dengan langkah desain dan membandingkan langkah desain sehingga praktisi dapat berkonsentrasi pada fitur yang paling penting. Alat QFD yang digunakan terlihat seperti rumah dengan beberapa 25 kamar dan atap, jadi istilah "rumah" digunakan. Matriks HoQ pertama kali digunakan untuk menampilkan kebutuhan konsumen atau *Voice of Customer* (VoC) terhadap respon teknis (Sutawidjaya & Asmarani, 2018).

Nama *House of Quality* (HoQ) diberikan karena bentuknya, yang merupakan "segitiga bagian atas" yang menyerupai atap. Tujuan utama HoQ adalah untuk

mengumpulkan dan menyatukan "Persyaratan Pelanggan" (*Customer Requirements/CRs*) dan "Karakteristik Teknik" (*Engineering Requirements/ECs*) dan menetapkan bobot CR dan nilai target untuk produk dengan menggambarkan HoQ sebagai matriks yang mengandung peta konseptual demi membantu proses perancangan produk. Dengan demikian, HoQ digambarkan sebagai matriks yang menyediakan peta konseptual untuk proses perancangan produk dan merupakan konstruksi untuk mengumpulkan dan memahami CR serta menemukan dan memprioritaskan EC. Kerja sama antara pemasaran, rekayasa, dan departemen manufaktur perusahaan diperlukan untuk membangun HoQ. Kerjasama ini menghasilkan kesuksesan produk baru atau lebih baik dan keuntungan lebih bagi perusahaan (Prasetyo., dkk, 2016).

Adapun langkah-langkah untuk penulisan HoQ (*House of Quality*) terdiri dari (Sofyan & Amri, 2018) :

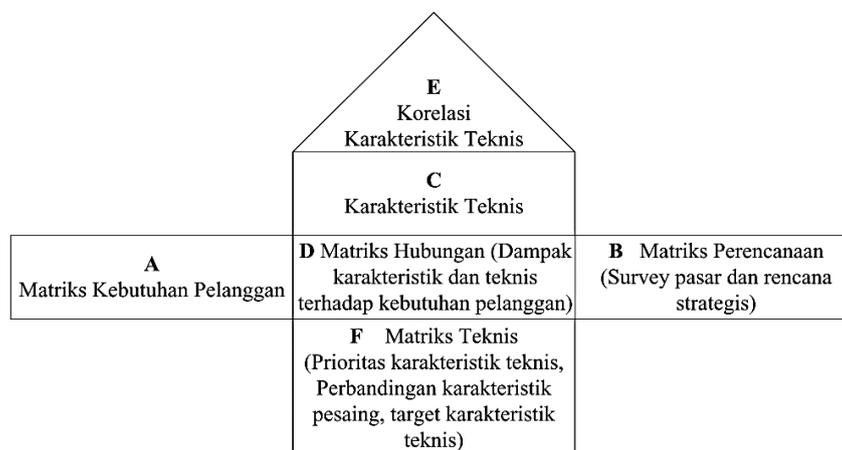
1. Pembuatan matriks kebutuhan konsumen, tahap ini meliputi:
 - a. Menentukan konsumen.
 - b. Mengumpulkan data keinginan dan kebutuhan konsumen.
2. Pembuatan matriks perencanaan, tahap ini meliputi:
 - a. Mengukur kebutuhan konsumen
 - b. Menentukan kebutuhan spesifikasi konsumen.
3. Pembuatan respon teknis. tahap ini dilakukan transformasi dari kebutuhan yang berisi non teknis menjadi data yang bersifat teknis guna memenuhi kebutuhan-kebutuhan konsumen.
4. Menentukan hubungan respon teknis dengan kebutuhan konsumen. Pada tahap ini ditentukan hubungan antara respon teknis dengan kebutuhan

konsumen. Hubungan antara keduanya bisa berupa hubungan yang sangat kuat, sedang, dan lemah. Bagian ini merupakan bagian dari HoQ yang menghubungkan ruang HOW'S dan WHAT'S. Matriks ini menghubungkan antara *technical requirements* dengan *voice of customer*

5. Korelasi teknis. Tahap ini menggambarkan hubungan dan ketergantungan antar respon teknis, sehingga dapat dilihat apakah suatu respon teknis yang satu mempengaruhi respon teknik yang lain.
6. Benchmarking dan penetapan target. Tahap ini dilakukan analisa perbandingan bagi pesaing dengan perusahaan. Sehingga dapat diketahui tingkat persaingan yang terjadi dan target yang harus dilampaui agar lebih baik dari pesaing.
7. Fase analisa dan interpretasi. Merupakan analisa dari data – data tersebut hingga dapat ditranslasikan menjadi spesifikasi produk.

2.9.1 *Komponen Utama House of Quality*

Metode yang menerjemahkan suatu kebutuhan dan keinginan konsumen menjadi rancangan produk atau spesifikasi produk yang memiliki persyaratan teknis dan karakteristik tertentu. Matriks ini menjelaskan tentang rumah HOQ (*House of Quality*). Pada langkah 1 yaitu mengkombinasikan keterkaitan antara VOC (*Voice of Customer*) terhadap karakteristik teknis atau *technical requirements* agar dapat memenuhi kebutuhan pelanggan. Pengolahan metode QFD dengan HOQ dipaparkan pada gambar dibawah.



Gambar 2.8 Komponen *House Of Quality*

(Sumber: Yani Syafei et al. 2017)

Penjelasan Komponen *House of Quality*:

Bagian A: Matriks kebutuhan pelanggan atau VOC (*Voice Of Customer*).

Langkah – langkah untuk mendapatkan kebutuhan pelanggan:

- a. Mendapatkan suara pelanggan melalui wawancara, komplain pelanggan, kuisisioner terbuka, atau data VOC penelitian sebelumnya.
- b. Seleksi Voice of Customer kepada beberapa kategori (dimensi kualitas, need atau benefit, dan lain-lain).
- c. Masukkan VOC ke dalam bagan matriks kebutuhan pelanggan.

Bagian B: Matriks perencanaan atau *planning matrix*. Matriks perencanaan merupakan alat mampu bantu tim pengembang dalam memprioritaskan kebutuhan pelanggan. Bagian pada matriks perencanaan yaitu sebagai berikut:

- a. *Importance to customer* atau tingkat kepentingan pelanggan adalah tempat dimana merupakan hasil dari pengambilan data mengenai seberapa penting yang termasuk atribut kebutuhan.

Bagian C: *substitute quality characteristics* / matrik karakteristik teknis. Matriks yang berisikan karakteristik teknis menjadi bagian dimana perusahaan dapat penerapan metode yang mungkin dapat diwujudkan dalam usaha memenuhi kebutuhan dan keinginan pelanggan. Pada technical response, perusahaan menterjemahkan kebutuhan konsumen sebagai *substitute quality characteristics* dan harus ditentukan target terbaik atau arah peningkatan yang mungkin dicapai, sebagai berikut:

- a. ↑ semakin besar nilainya, semakin baik.
- b. ↓ semakin kecil nilainya, semakin baik.
- c. O nilai target yang ditentukan adalah yang terbaik

Bagian D: *Relationship matrix* atau matriks hubungan, merupakan matriks yang menghubungkan antara VOC dengan *technical requirements* dan selanjutnya menerjemahkan sebagai sebuah nilai yang menjelaskan kekuatan dari hubungan tersebut. Ada 4 nilai hubungan dalam matriks ini, sebagai berikut:

- a. Tidak berhubungan (nilai=0).
- b. Sedikit hubungan = Δ (nilai=1).
- c. Hubungan biasa = O (nilai=3).
- d. Sangat berhubungan = (nilai 5, 7, 9 atau 10 tergantung dari pemilihan tim perancang)

Bagian E: *technical correlation* / matrik korelasi karakteristik teknis (*technical requirements*), pada bagian ini mendeskripsikan peta saling berhubungan (*inter-relationship*) dan saling ketergantungan (*independency*) antara *technical*

requirements. Pengaruh teknis pada bagian ini memiliki 5 tingkat, sebagai berikut:

- a. $\sqrt{\sqrt{}}$ pengaruh positif kuat.
- b. $\sqrt{}$ pengaruh positif sedang.
- c. tidak ada hubungan.
- d. X pengaruh negatif sedang.
- e. XX pengaruh negatif kuat.

Bagian F: ada tiga jenis informasi pada matrik ini, yaitu:

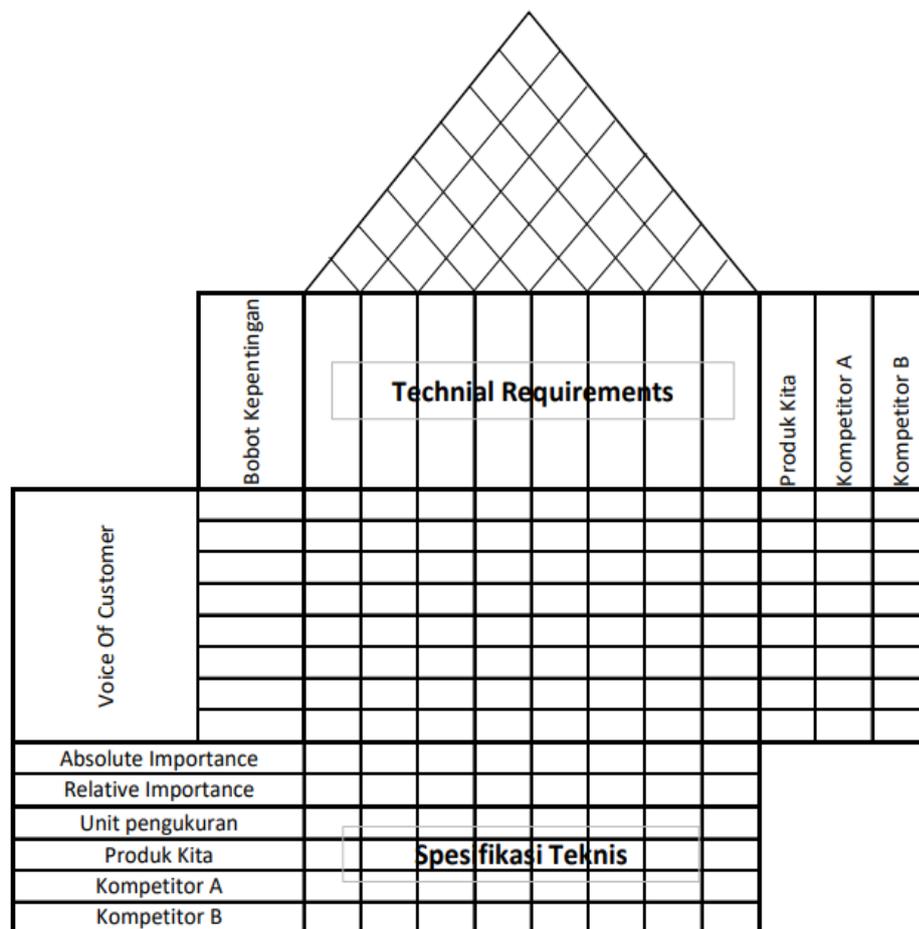
- a. Kontribusi dari karakteristik teknis terhadap performansi produk atau jasa secara keseluruhan. Untuk dapat mengetahui tingkat kontribusi ini adalah dengan mengurutkan peringkat dari karakteristik teknis, berlandaskan bobot kebutuhan dan kepentingan pelanggan pada bagian B, juga hubungan antara kebutuhan pelanggan dan karakteristik teknis pada bagian D.
- b. Technical benchmark menjelaskan informasi dari pengetahuan tentang keunggulan karakteristik dari kompetitor. Caranya adalah dengan membandingkan masing-masing *technical requirements*.
- c. Target pada *technical requirements* diperlihatkan sebagai ukuran performansi fungsi terhadap *technical requirements*, yang kemudian akan menjadi target dari aktivitas pengembangan (Yani Syafei et al., 2017).

	hubungan VOC dengan <i>technical requirement</i>											
4.	Menentukan nilai spesifikasi target sesuai perhitungan pada badan HOQ											
5.	Membandingkan spesifikasi dan voc produk yang dibuat dengan produk kompetitor											
6.	Menentukan spesifikasi teknis untuk produk											
7.	Mendesain tiap komponen mainan edukasi STEM											
8.	Pembuatan prototipe produk											
9.	Analisis hasil dan penyusunan laporan											

3.2 Metode Penelitian

Adapun metode yang digunakan dalam pendekatan perancangan produk mainan edukasi menggunakan metode QFD (*Quality Function Deployment*).

Metode ini diawali dengan menentukan spesifikasi yang diinginkan oleh konsumen berdasarkan data keinginan konsumen yang diperoleh dari survei atau literasi, data konsumen ini disebut *voice of customer*. Metode QFD menggunakan HOQ (*House Of Quality*) yang berbentuk rumah berisi matriks hubungan konsumen, persyaratan teknis (*technical requirement*), dan pesaing. Pada penelitian ini, data VOC (*Voice Of Customer*) penelitian ini diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan berkaitan dan sesuai yaitu perancangan produk mainan edukasi untuk anak usia sekolah menengah. Bentuk dari data QFD berupa HOQ (*House Of Quality*) seperti yang terlihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.1 *House Of Quality* Penelitian

VOC beserta *technical requirements* kemudian akan dimasukkan kedalam matriks perbandingan dan diberikan nilai hubungan antara keduanya. Nilai yang diberikan berupa angka yang memiliki arti tingkat keterkaitan antara VOC dengan *technical requirement*. Nilai yang diberikan adalah “9” untuk hubungan yang kuat, “3” untuk hubungan yang sedang, “1” untuk hubungan yang lemah, dan kosongkan apabila tidak ada hubungan. Lalu pada matriks segitiga (*roof*) diberikan nilai keterkaitan antara tiap *technical requirements*. Nilai keterkaitan berupa “√√” untuk keterkaitan positif kuat, “√” keterkaitan positif sedang, dikosongkan bila tidak ada hubungan, “X” pengaruh negatif sedang, dan “XX” pengaruh negatif kuat.

Setelah data dari badan rumah sudah dilengkapi maka dilanjutkan dengan menghitung nilai *Absolute Importance* dan *Relative Importance* dari hubungan antara *Voice Of Customer/Customer Needs* dan *technical requirement*. Fungsi dari *Absolute Importance* adalah memberikan nilai hasil yang menunjukkan prioritas untuk dilaksanakan, dengan melihat hubungan antara technical response, customer requirements, dan tingkat kepentingan konsumen. Sedangkan fungsi dari *Relative Importance* adalah menunjukkan nilai absolute importance yang dinyatakan dengan persen kumulatif. Rumus dari *Absolute Importance* ada dibawah ini:

$$\textit{Absolute Importance (AI)} = \Sigma(\textit{ILTR} \times \textit{NH}) \quad \text{..... (1)}$$

Dimana,

ILTR = Importance Level (yang berhubungan dengan technical response)

NH = Nilai hubungan

Dan untuk rumus dari *Relative Importance* yang menunjukkan nilai *AI* dalam bentuk persen adalah:

$$\text{Relative importance (RI)} = \frac{\text{NATR}}{\Sigma(\text{AI semua TR})} \quad \dots (2)$$

Dimana,

NATR = Nilai absolute untuk 1 nilai TR

TR= *Technical response*

Selanjutnya adalah mengisi spesifikasi teknis dari produk yang akan dibuat. Contoh dari spesifikasi teknis ini adalah material yang digunakan, ukuran dari mainan, berat, dan lain lainnya. Nilai dari spesifikasi teknis ini berupa nilai scoring seperti yang digunakan pada nilai *Voice Of Customer* yaitu nilai dari 1 sampai 5. Spesifikasi teknis yang dibuat disesuaikan dengan prioritas konsumen yang ditunjukkan oleh nilai *Absolute Importance* dan *Relative importance*. Isi juga spesifikasi teknis dari produk pesaing pada tabel dibawah spesifikasi teknis produk kita sebagai perbandingan dan acuan dari produk yang akan dibuat. Lanjutkan dengan mengisi nilai bobot *Voice Of Customer* pesaing dan nilai bobot target produk yang akan dibuat pada tabel kanan badan rumah HOQ. Catat poin-poin spesifikasi yang sesuai dengan permintaan konsumen

Apabila data QFD sudah dapatkan maka dilanjutkan dengan perancangan produk dan menerjemahkan permintaan konsumen menjadi bentuk desain

produk mainan edukasi. Perancangan diawali dengan membuat konsep mainan yang akan dibuat. Konsep dibuat dengan jumlah lebih dari satu dalam bentuk sketsa atau poin-poin ide. Setelah 2 atau lebih konsep sudah dibuat, konsep dilakukan eliminasi dengan metode penilaian konsep. Penilaian konsep dilakukan dengan membuat matriks penilaian yang berisi kriteria matriks dengan bobot kepentingan masing masing.

Tabel 3. 2 Penilaian Konsep

		Konsep					
		A		C		B	
Kriteria Pemilihan	Bobot, B(%)	Rating, R	Skor (B x R)	Rating, R	Skor (B x R)	Rating, R	Skor (B x R)
		Total Skor					
Peringkat							

Rating (R) dapat diisi dengan penggunaan skala lebih halus dan menyempit, seperti:

1 : Sangat buruk dibanding referensi

2 : Buruk dibanding

3 : Sama dengan

4 : Lebih baik dari

5 : Sangat baik dari

Nilai dari total skor didapatkan dari:

$$Total\ Score = \Sigma\ Skor \quad \dots(3)$$

Setelah konsep sudah ditentukan dilanjutkan ke proses DesainDesain dari mainan edukasi dibuat menggunakan perangkat lunak Inventor. Desain disesuaikan dengan spesifikasi yang telah didapat dari hasil QFD. *Output* dari proses ini adalah desain dan *drawing* dari tiap komponen dari mainan edukasi dan rancangan dari semua komponen mainan kedalam bentuk rancangan mainan struktur *crane* atau jembatan.

Desain yang sudah siap lalu dibuat dalam bentuk prototipe. Prototipe mainan ini dibuat menggunakan mesin 3D *printer*. Desain dari mainan di *export* dalam format STL agar dapat di *input* ke dalam perangkat lunak *slicer* Bambu Studio. Atur parameter dari produk dalam perangkat lunak *slicer*, sesuaikan parameter dengan spesifikasi yang diminta oleh konsumen. Dalam *slicer* desain dari mainan diletakkan pada posisi yang sesuai untuk mempermudah proses 3D *printing* dan untuk menghasilkan kekuatan *layer* produk yang kuat. Setelah dilakukan *slicing*, *slicer* akan menunjukkan waktu dan berat filamen yang dibutuhkan pada proses pembuatan komponen mainan edukasi. Material yang digunakan adalah filamen PLA (*Polylactic Acid*) yang merupakan material yang terbuat dari pati jagung dan bersifat *non-toxic*. Produk lalu dicetak menggunakan 3D *printer* selama waktu yang ditunjukkan pada *slicer*. *Output* dari proses ini adalah prototipe dari tiap komponen mainan edukasi.

3.3 Voice of Customer Penelitian

Pada perancangan produk mainan edukasi 3D *Print* dibutuhkan suara kebutuhan konsumen dan prioritas dari setiap suara yang ada. Seperti yang dikatakan dalam penelitian (Yani Syafei et al., 2017) bahwa VOC dapat

diperoleh dari hasil wawancara terbuka, kuisisioner, dan dari penelitian sebelumnya yang sesuai dengan topik. Maka *Voice Of Customer* yang digunakan pada penelitian ini adalah VOC yang dibuat oleh Wiyogo et al., (2020) yang merupakan VOC mainan edukasi usia sekolah menengah. VOC yang digunakan ada pada tabel 3.4.

Tabel 3.3 *Voice Of Customer* dan urutan nilai kepentingannya

No.	Keterangan	Urutan Kepentingan
1	Komposisi warna tampilan alat	3
2	Kualitas dan detail permainan	4
3	Desain alat permainan	3
4	Kombinasi bentuk permainan	2
5	Ketertarikan anak terhadap alat permainan	5
6	Harga permainan yang murah	4
7	Kemudahan menyelesaikan permainan	4
8	Fitur – fitur keamanan alat permainan	5

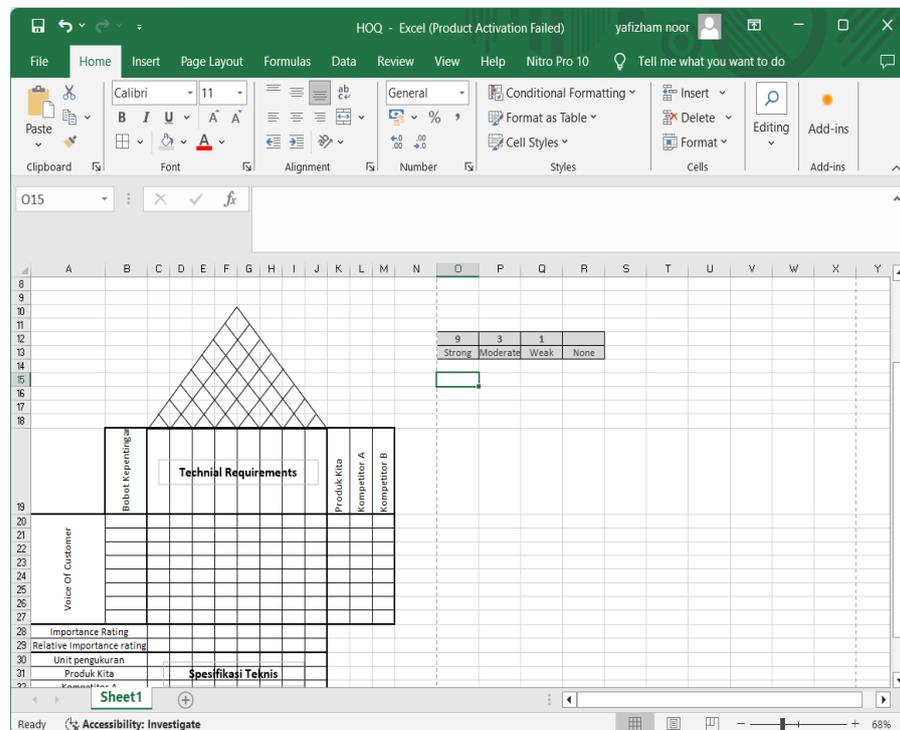
3.4 Alat dan Bahan Untuk Prototyping

Alat yang digunakan dalam *prototyping* ini terdapat 3 perangkat lunak yang masing-masing dari perangkat lunak dibutuhkan untuk membuat HoQ (*House*

of Quality), perangkat lunak untuk mendesain Inventor, dan perangkat lunak Slicer untuk membuat prototipe, dan 1 3D *Printer* untuk membuat prototipe.

1. Perangkat Lunak Microsoft Excel

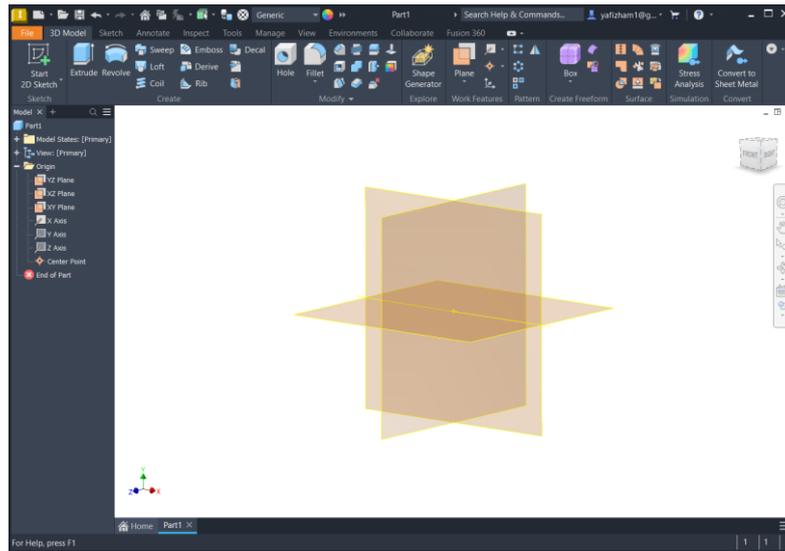
Alat utama yang digunakan antara lain adalah perangkat lunak Microsoft Excel yang berfungsi untuk menyusun dan mengolah data dalam bentuk HoQ (*House of Quality*) dimana matriks akan dihubungkan untuk melihat nilai kepentingan dari konsumen.



Gambar 3.2 Perangkat Lunak Wondershare

2. Perangkat Lunak Inventor

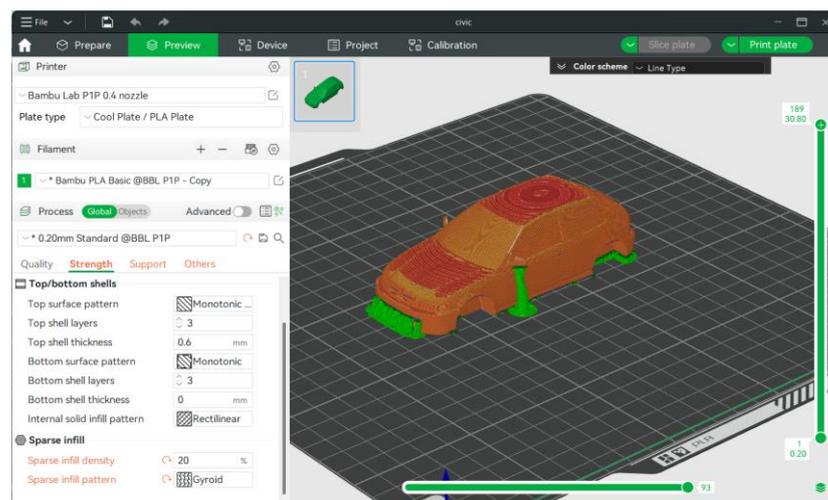
Inventor merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan desain dalam bentuk 2 dimensi maupun 3 dimensi. Pada perangkat lunak ini akan dilakukan *modelling* dan *assembling* untuk melihat toleransi dan mampu rancang dari mainan yang akan dibuat.



Gambar 3.3 Perangkat Lunak Inventor

3. Slicer

Perangkat lunak *Slicer* memiliki fungsi untuk mengatur parameter dan menggenerasikan kode G untuk proses *3D printing*. Parameter ini dapat berpengaruh terhadap kualitas dan kekuatan pada prototipe produk yang akan dibuat. Pada perangkat lunak ini kita dapat melihat dimensi aktual dan berapa massa filamen yang digunakan pada produk yang akan di print.



Gambar 3.4 Perangkat Lunak Slicer

4. Mesin 3D *Printer*

Mesin yang digunakan adalah FDM 3D *Printer* 3.5 axis dari Bambu Lab dengan seri P1P. Sedangkan untuk alat pendukung yang digunakan adalah laptop, kotak filament, jaringan wifi, dan kabel listrik. Mesin 3D *Printer* tipe FDM memiliki spesifikasi lengkap seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3.4 Spesifikasi Mesin 3D Printer Bambu Lab P1P

Komponen	Spesifikasi
Volume Produksi	: $256 \times 256 \times 256 \text{ mm}^3$
Nosel	: 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm, 0.8 mm
<i>Hotend</i>	: <i>All-Metal</i>
Temperatur maksimal <i>Hotend</i>	: 300 °C
Temperatur Maksimal Permukaan <i>Print</i>	: 100°C
Kecepatan Maksimal	: 500 mm/s
Akseleerasi Maksimal	: 20 m/s ²
Diameter Filamen	: 1.75 mm
Jenis Filamen Yang Didukung	: Ideal: PLA, PETG, TPU, PVA, PET Dengan Cover: PA, PC, ABS, ASA
Dimensi Fisik Alat	: $386 \times 389 \times 458 \text{ mm}^3$
Persyaratan Kelistrikan	: 100-240 VAC, 50/60 Hz, 1000W@220V, 350W@110V



Gambar 3.5 Mesin 3D *Printer*

5. Filamen PLA

Bahan mainan edukasi STEM menggunakan filamen PLA (polylactidacid) yang terbuat dari pati jagung. Spesifikasi lengkap filamen yang digunakan ada pada tabel 3.3.

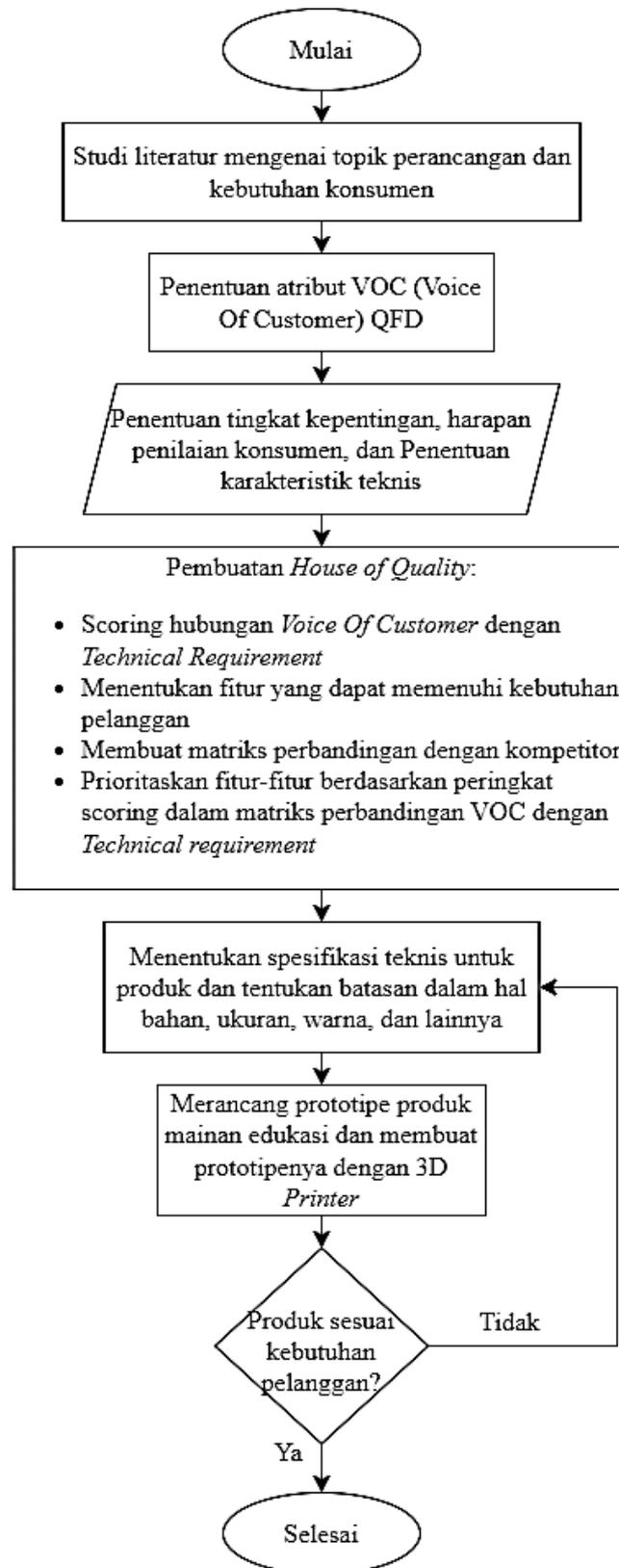
Tabel 3.5 Spesifikasi Filamen PLA

Keterangan	Spesifikasi
Temperatur Print	210-230°C
Temperatur Permukaan print	45-65°C

Densitas	1.23g/cm ³
Index Leleh	5(190°C) g/10min
Tensile Strength	60MPa
Bending Strength	74MPa
Flexural Modulus	1973MPa
Temperatur Distorsi	53°C

3.5 Alur Penelitian

Berikut merupakan *flowchart* pelaksanaan penelitian dari awal sampai selesai penelitian dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.6 Flowchart Penelitian

3.6 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur VOC mengenai mainan edukasi dan perancangan produk yang menggunakan metode QFD.
2. Meidentifikasi fitur dan atribut utama yang dibutuhkan berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan pelanggan.
3. Menyiapkan perangkat lunak Microsoft Excel untuk melaksanakan QFD dengan membuat *House Of Quality*.
4. Membuat matriks QFD yang menghubungkan antara VOC dengan *technical requirement*.
5. Memberikan bobot prioritas kepada setiap hubungan antara VOC dan *technical requirement*.
6. Membuat matriks atap (*roof*) untuk membuat nilai keterkaitan antara tiap *technical requirements*.
7. Menghitung nilai bobot relatif dari hasil matriks perbandingan antara VOC dengan *technical requirement* dengan rumus *Absolute Importance* dan rumus *Relative Importance*.
8. Membuat matriks spesifikasi teknis. Isi spesifikasi teknis sesuai dengan nilai relatif absolut dari hasil perhitungan. Utamakan spesifikasi dari yang paling diminta oleh konsumen.
9. Membuat matriks perbandingan produk pesaing dan membandingkannya dengan kebutuhan konsumen sebagai acuan produk yang akan dibuat.
10. Memahami isi dan menganalisis seperti apa produk mainan edukasi yang diinginkan oleh konsumen.

11. Membuat daftar spesifikasi dan keinginan dari produk mainan edukasi yang diinginkan konsumen.
12. Menyiapkan perangkat lunak Inventor untuk membuat desain dari produk.
13. Mendesain setiap komponen mainan edukasi sesuai dengan spesifikasi teknis yang diinginkan konsumen.
14. Merancang produk mainan edukasi dari tiap komponennya menjadi rancangan atau modul mainan struktur *crane* atau jembatan dan memeriksa toleransi ukuran dari produk yang didesain.
15. Apabila produk tidak sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan konsumen maka ulangi dari langkah 10.
16. Menyimpan desain tiap komponen yang sudah sesuai ke dalam *file* dalam bentuk STL agar dapat diproses oleh *slicer* ketika ingin membuat prototipe dari produk menggunakan 3D *printer*.
17. Menyiapkan perangkat lunak Bambu Studio (*slicer*).
18. Masukkan desain komponen yang sudah disimpan dalam format yang sesuai ke dalam *slicer*.
19. Mengatur posisi dari produk dengan memilih opsi "*Lay on face*" agar posisi dari produk mudah untuk dilakukannya 3D *printing*.
20. Mengatur parameter *infill*, *wall thickness*, *layer height*, dan lainnya pada menu kualitas pada aplikasi Bambu Studio.
21. Menyesuaikan parameter dengan spesifikasi yang sesuai dengan keinginan konsumen.
22. Mengatur parameter panas nosel dan panas permukaan sesuai dengan spesifikasi print material filamen PLA.

23. Memasang filamen ke 3D *printer* dengan menekan menu *insert filament* pada 3D *printer* atau pada aplikasi Bambu Studio.
24. Masukkan filamen PLA ke printer saat layer pada printer menunjukkan tulisan "*Insert filament*".
25. Melakukan 3D *printing* komponen mainan edukasi dengan menekan opsi "*print plate*".
26. Menunggu dan mengamati proses 3D *printing* dari produk yang sedang dibuat.
27. Melepas produk dari permukaan print apabila sudah selesai.
28. Mengulangi langkah 18 hingga 27 pada tiap komponen dan pada tiap produk yang gagal di print.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian perancangan produk mainan edukasi struktur ini adalah sebagai berikut.

1. Konsep mainan edukasi struktur yang dipilih adalah konsep mainan *beam and connector* yang berarti tiang dan penghubung. Konsep mainan ini berbentuk seperti rangka dari bangunan ataupun jembatan. Konsep ini dipilih karena komponen dapat dibuat dengan ukuran yang kecil, harga yang murah, dan waktu produksi yang cepat. Konsep ini menggunakan sistem pengunci yang dinamakan *pin lock* dimana komponen *beam* akan di jepit pada ujung komponen *connector* dan dikunci dengan 2 pasang *pin* yang akan masuk pada lubang pengunci yang ada pada komponen *beam*. Ada juga komponen pendukung, yaitu *pin lock* yang memiliki *pin* panjang yang dapat masuk ke tiap ujung komponen *beam* dan tiap sisi lubang yang ada pada tiap komponen *lock*.
2. Spesifikasi diperoleh dari hasil translasi keinginan konsumen menggunakan metode QFD (*quality function deployment*) diterapkan pada tiap komponen mainan edukasi struktur yang dibuat. Spesifikasi dari komponen *beam* panjang adalah dimensi 80 x 15 x 6 mm, Berat 3,3 gram. *Beam* sedang memiliki dimensi 48 x 15 x 6 mm, berat 2 gram. *Beam* pendek memiliki dimensi 26 x 15 x 6 mm, berat 1,2 gram. Komponen X *lock* memiliki

dimensi 57 x 57 x 15 mm, berat 7,3 gram. *H Lock* memiliki dimensi 57 x 14,6 x 15 mm, berat 4,5 gram. *Short H Lock* memiliki dimensi 37,2 x 14,6 x 15 mm, berat 3,2 gram. Komponen *V Pin Lock* memiliki dimensi 35.8 x 35.8 x 15 mm, berat 4,5 gram. Komponen *Pin Lock* memiliki dimensi 41.4 x 14.5 x 15 mm, berat 3,1 gram. Komponen *Short Pin Lock* memiliki dimensi 31.6 x 14.5 x 15 mm, berat 2,4 gram. Semua komponen menggunakan material filament polimer *polylactid acid* (PLA).

3. Komponen mainan edukasi dapat dirancang menjadi rancangan struktur jembatan dengan menggunakan 142 total komponen dengan harga Rp. 93.792. Harga ini terhitung murah dibandingkan competitor yang ada di pasar. Dimensi dari rancangan ini adalah 604,22 mm × 148,2 mm × 294,4 mm. Rancangan ini mengandung STEM dalam proses pembuatannya, dikarenakan pemain harus memikirkan bagaimana cara membuat rancangan jembatan dengan komponen yang ada, dan bagaimana cara membuat rancangan bisa berdiri tegak dengan memikirkan struktur seperti apa yang kuat untuk bisa menompang beban dari jembatan.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan setelah pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukannya QFD kembali pada mainan edukasi struktur untuk mendapatkan nilai perkembangan. Untuk menentukan apa saja yang masih kurang dan apa saja yang masih bisa dikembangkan.

2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait uji struktur dari tiap komponen mainan edukasi struktur. Dikarenakan perbedaan densitas *infill* dapat mempengaruhi daya jepit komponen *lock* dan dapat mempengaruhi kekuatan tekan yang dapat diterima oleh komponen *beam*.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait cara produksi komponen mainan edukasi struktur yang lebih efisien. Untuk mengetahui cara yang lebih cepat dan lebih murah dalam memproduksi komponen mainan edukasi struktur

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Rahman, H. S. (2012). Analisa Kepuasan Pelanggan pada Pekerjaan. *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 1, No. 1(Sept. 2012) ISSN: 2301-9271, 1(1)*.
- Alamsyah, N., & Saino, S. (2021). Pengaruh fitur produk dan promosi cashback terhadap keputusan pembelian. *Akuntabel, 18(4), 624–634*.
<https://doi.org/10.30872/jakt.v18i4.9888>
- Andriani, D. P., Adnandy, R., Maghlidah, S. T., & Anwar, A. A. (2019). Peningkatan Kualitas Produk IKM Rotan Melalui Perancangan Produk Unggulan dengan Pendekatan Quality Function Deployment. *Seminar Dan Konferensi Nasional The 6th IDEC, June, D04*.
https://www.researchgate.net/profile/Debrina-Andriani/publication/334063691_Peningkatan_Kualitas_Produk_IKM_Rotan_Melalui_Perancangan_Produk_Unggulan_dengan_Pendekatan_Quality_Function_Deployment/links/5d14d059a6fdcc2462aa41ef/Peningkatan-Kualitas-Produk-
- Ata Aktürk, A., Demircan, H. özlen, Şenyurt, E., & Çetin, M. (2017). Turkish early childhood education curriculum from the perspective of STEM education: A document analysis. *Journal of Turkish Science Education, 14(4), 16–34*.
<https://doi.org/10.12973/tused.10210a>
- Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons, 60(5), 677–688*. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.05.011>
- Camburn, B., Viswanathan, V., Linsey, J., Anderson, D., Jensen, D., Crawford, R.,

- Otto, K., & Wood, K. (2017). Design prototyping methods: State of the art in strategies, techniques, and guidelines. *Design Science*, 3(Schrage 1993), 1–33.
<https://doi.org/10.1017/dsj.2017.10>
- Chan, L. K., & Wu, M. L. (2002). Quality function deployment: A comprehensive review of its concepts and methods. *Quality Engineering*, 15(1), 23–35.
<https://doi.org/10.1081/QEN-120006708>
- Cooper, A. (2004). *The Inmates Are Running the Asylum Warning and Disclaimer*.
<http://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/9780672326141/samplepages/0672326140.pdf>
- Daywin, F. J., Utama, D. W., Kosasih, W., & Wiliam, K. (2019). PERANCANGAN MESIN 3D PRINTER DENGAN METODE REVERSE ENGINEERING (Studi Kasus di Laboratorium Mekatronika dan Robotics Universitas Tarumanagara). *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 7(2), 79–89.
<https://doi.org/10.24912/jitiuntar.v7i2.5929>
- Dieter, G., & Schmidt, L. (2013). Engineering Design. *McGraw-Hill Companies*, 5.
- Gatta, A. (2023). *LEVELING OUT THE LEFT FIELD: TOY DESIGN FOR LEFT-HANDED CHILDREN*. 45.
- Gibson, W. (2022). Product design and development. In *Integrated Functional Sanitation Value Chain: The role of the sanitation economy*.
https://doi.org/10.2166/9781789061840_0019
- Gonzalez-Gomez, J., Valero-Gomez, A., Prieto-Moreno, A., & Abderrahim, M. (2012). A new open source 3D-printable mobile robotic platform for

education. *Advances in Autonomous Mini Robots - Proceedings of the 6th AMiRE Symposium, AMiRE 2011*, 49–62. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27482-4_8

Herlinda, N., & Mardiana, C. (n.d.). *Redesain Mainan Edukatif Balok Kayu Untuk Anak TK | Herlinda | Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*. 91–94. <https://ejurnal.itats.ac.id/sntekpan/article/view/656>

Ikhsanto, L., & Zainuddin. (2020). ANALISA KEKUATAN BENDING FILAMEN ABS DAN PLA PADA HASIL 3D PRINTER DENGAN VARIASI SUHU NOZZLE. *Media Mesin: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 21(1), 9–17. [file:///D:/SKRIPSI/Jurnal/Bending PLA dan ABS.pdf](file:///D:/SKRIPSI/Jurnal/Bending%20PLA%20dan%20ABS.pdf)

International Organization for Standardization. (2021). *ISO 16355-1:2021 Application of Statistical and Related Methods to New Technology and Product Development Process — Part 1:General principles and perspectives of Quality Function Deployment (QFD)* (Issue 2, pp. 1–15).

Irawan, A. P. (2017). *Perancangan & Pengembangan Produk Manufaktur*. ANDI.

Irvan, M. (2011). Fase Pengembangan Konsep Produk Dalam Kegiatan Perancangan dan Pengembangan Produk. *Jurnal Ilmiah Faktor Exacta*, 4(3), 261–274.

https://journal.lppmunindra.ac.id/index.php/Faktor_Exacta/article/view/55

Kumar, A. V. (2022). A Review paper on 3D-Printing and Various Processes Used in the 3D-Printing. *Interantional Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 06(05), 953–958. <https://doi.org/10.55041/ijsrem13278>

Kurniasih, Y., Hamdu, G., & Lidinillah, D. A. M. (2020). Rubrik Asesmen Kinerja

- Berpikir Kritis pada Pembelajaran STEM dengan Media Lightning Tamiya Car. *Jurnal Ilmiah Sekolah Dasar*, 4(2), 174.
<https://doi.org/10.23887/jisd.v4i2.25172>
- Migotuwio, N. (2020). Perancangan Produk Mainan Edukasi Kayu Dengan Metode Quality Function Deployment (QFD). *Jurnal Desain*, 3(1), 7–14.
<https://play.google.com/books/reader?id=DJTPDwAAQBAJ&pg=GBS.PA7&hl=en>
- Nurjanah, N. E. (2020). Pembelajaran Stem Berbasis Loose Parts Untuk Meningkatkan Kreativitas Anak Usia Dini. *Jurnal Ilmiah Kajian Ilmu Anak Dan Media Informasi PUD*, 1(1), 19–31.
- ÖNDER, M. (2018). Contribution of Plays and Toys to Children’s Value Education. *Asian Journal of Education and Training*, 4(3), 146–149.
<https://doi.org/10.20448/journal.522.2018.42.146.149>
- Permanasari, A. (2016). STEM Education : Inovasi dalam Pembelajaran Sains. *SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN SAINS “Peningkatan Kualitas Pembelajaran Sains Dan Kompetensi Guru Melalui Penelitian & Pengembangan Dalam Menghadapi Tantangan Abad-21” Surakarta, 22 Oktober 2016*, 23–34.
- Prihadianto, B. D., & Darmo, S. (2021). Aplikasi Teknologi 3D Printer Dalam Rangka Pengembangan Pembuatan Komponen Miniatur Di Karang Taruna Dusun Bendungan. *KACANEGARA Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, 4(1), 57. <https://doi.org/10.28989/kacanegara.v4i1.739>
- Robbika, A. A., & Baroto, T. (2017). Perencanaan Strategi Pemasaran Dengan

- Metode Multidimensional Scalling Dan Quality Function Deployment. *Jurnal Teknik Industri*, 17(1), 12. <https://doi.org/10.22219/jtiumm.vol17.no1.12-21>
- Rusianto, T., Huda, S., & Wibowo, H. (2019). a Riview: Jenis Dan Pencetakan 3D (3D Printing) Untuk Pembuatan Prototipe. *Jurnal Teknologi*, 12(1), 14–21. <https://aaq.auburn.edu/node/9907/take>
- Santi, A. M. (2013). *Pengaruh Penerapan Permainan Lego Terhadap Kemampuan Kognitif Anak Kelompok a Di Tk Istana Balita Surabaya*. 1–5. <https://journal.unair.ac.id/JPPP@the-influence-of-playing-playdough-toward-5-6-years-old-child-creativity-viewed-from-individually-and-grouply-playing-article-7095-media-53-category-10.html>
- Sofyan, D. K., & Amri, A. (2018). Aplikasi Matriks Quality Function Deployment (Qfd) Pada Perancangan Ulang Meja Belajar Mini. *Jurnal Optimalisasi*, 3(5), 103–116. <https://doi.org/10.35308/jopt.v3i5.275>
- Sutawidjaya, A. H., & Asmarani, S. (2018). *Sutawidjaya dan Asmarani*, Hal . 32-45. *I(01)*, 32–45.
- Taborda, E., Chandrasegaran, S. K., Kisselburgh, L., Reid, T., & Ramani, K. (2012). Enhancing visual thinking in a toy design course using freehand sketching. *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, 7, 267–276. <https://doi.org/10.1115/DETC2012-71454>
- Torenvliet, G. (2008). (P)REVIEWThe design of future things. In *Interactions* (Vol. 15, Issue 2). <https://doi.org/10.1145/1340961.1340979>
- Wiraghani, S. R., & Prasnowo, M. A. (2017). Perancangan Dan Pengembangan Produk Alat Potong Sol Sandal. *Teknika: Engineering and Sains Journal*, 1(1),

73. <https://doi.org/10.51804/tesj.v1i1.79.73-76>

Wiwik Pratiwi. (2017). Konsep Bermain Pada Anak Usia Dini. *Manajemen Pendidikan Islam* , 5, 106–117.

Wiyogo, W., Perkasa, P., & Fachrezzy, R. (2020). Analisa Alat Permainan Edukatif Anak. *Steam Engineering*, 1(2), 91–96.
<https://doi.org/10.37304/jptm.v1i2.717>

Yani Syafei, M., Liviadrienne, N., Ki, J., & Dewantara, H. (2017). Perancangan Alat Bantu Pengecekan Fuse Box dengan Menggunakan Metode Quality Function Deployment. *Journal of Industrial Engineering, Scientific Journal on Research and Application of Industrial System*, 2(2), 105–116.

Zhang, C., Bills, B. J., & Manicke, N. E. (2017). Rapid prototyping using 3D printing in bioanalytical research. *Bioanalysis*, 9(4), 329–331.
<https://doi.org/10.4155/bio-2016-0293>