

**PERANCANGAN MESIN 3D PRINTER
DENGAN METODE *REVERSE ENGINEERING*
(Studi Kasus di Laboratorium Mekatronika dan Robotics Universitas Tarumanagara)**

Frans Jusuf Daywin, Didi Widya Utama, Wilson Kosasih, Kevin William

Program Studi Teknik Industri Jurusan Teknologi Industri

Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

e-mail: fransjusuf42@gmail.com

ABSTRAK

Laboratorium Mekatronika dan laboratorium Robotics di Universitas Tarumanagara merupakan laboratorium untuk mempelajari ilmu mekanika, elektronika, dan informatika. Dalam proses produksinya, Laboratorium Mekatronika dan Robotics sangat memperhatikan proses pembuatan robot yang dianalisis mulai dari proses pembuatan rangka dan komponen robot hingga proses pemasangan rangkaian elektronik dan penerapan program pada robot. Reverse engineering merupakan proses analisis produk yang sudah ada sebagai acuan untuk merancang produk yang sejenis dengan memperkecil dan meningkatkan keunggulan produk. Kegiatan Reverse Engineering (RE) dilakukan dengan cara Disassembly 3D printer lama, Assembly 3D printer lama, Benchmarking, Design 3D printer baru, dan terakhir adalah prototyping. Reverse engineering dilakukan pada produk 3D printer Grabber i3. Untuk 3D printer baru ini dilakukan inovasi pada material produk, yaitu akrilik, power supply 12V 30A, motor driver A4988, extruder bowden MK8, dan menambah fitur baru yaitu heatbed.

Kata kunci: 3D printer, Produktivitas, Metode Rekayasa Desain, Rekayasa Balik.

ABSTRACT

Mechatronics and Robotics laboratory at Tarumanagara University is a teaching laboratory to study the science of mechanics, electronics, and informatics. In the production process, Mechatronics and Robotics Laboratory are very concerned about the process of making robots that are analyzed from the process of making the framework and robot components to the process of installation of electronic circuits and the application of the program on the robot. This research will be designed and made a machine 3D printer to assist workers in the process of making robot components so as to increase the level of productivity of the work of making robot components. Reverse engineering is an existing product analysis process as a reference for designing similar products by minimizing and increasing product superiority. Reverse Engineering (RE) activities are done by old disassembly 3D printers, old assembly 3D printers, Benchmarking, Design 3D new printers, and the last is prototyping. Reverse engineering is done on 3D grabber i3 printer product. For this new 3D printer innovation on product material, acrylic, 12V 30A power supply, A4988 motor driver, MK8 bowden extruder, and add new feature that is heatbed.

Keywords: 3D printer, Productivity, Engineering Design Method, Reverse Engineering.

PENDAHULUAN

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di industri saat ini berkembang dengan cepat terutama di bidang otomasi industri. Perkembangan ini dapat dilihat dengan jelas di perindustrian Indonesia, mulai dari yang awalnya banyak pekerjaan menggunakan tenaga manusia, kemudian berkembang berubah menggunakan mesin dan pekerjaanya beralih menjadi operator. Tujuan mengotomasi sebuah proses adalah untuk menciptakan kualitas produk yang tinggi, mengurangi biaya produksi, dan mengurangi waktu produksi dalam suatu proses produksi.

Reverse engineering (rekayasa balik) merupakan proses analisis produk yang sudah ada sebagai acuan untuk merancang produk yang sejenis dengan memperkecil dan meningkatkan keunggulan produk [1]. Dengan metode *reverse engineering* prinsip kinerja dari sebuah alat, objek, atau sistem yang dapat dilakukan dengan menganalisis struktur, fungsi, dan pengoperasiannya.

Laboratorium Mekatronika dan Robotics merupakan laboratorium untuk mempelajari ilmu mekanika, elektronika, dan informatika. Selain itu, Laboratorium Mekatronika juga berdampingan dengan laboratorium *Robotics* yang merupakan komunitas untuk mempelajari ilmu-ilmu robotika. Dalam proses produksinya, Laboratorium *Robotics* sangat memperhatikan proses pembuatan robot yang dianalisis mulai dari proses pembuatan rangka dan komponen robot hingga proses pemasangan rangkaian elektronik dan penerapan program pada robot.

Laboratorium Mekatronika dan *Robotics* belum memiliki alat bantu dalam proses pembuatan komponen robot sehingga harus membuat komponen robot seperti plat besi secara manual satu per satu yang tidak efisien dalam penggunaan waktu dan tenaga, serta menyebabkan kelelahan fisik dan kecelakaan kerja. Tanpa adanya alat otomatisasi ini, harus dipotong dan dibengkokkan plat besi tersebut secara manual menggunakan gergaji dan palu *bending*. Dalam membuat komponen robot, setidaknya memerlukan tingkat kepresisian yang tinggi untuk dapat digunakan pada robot dan jika menggunakan alat otomatisasi lain seperti mesin CNC (*Computer Numerical Control*) sangat tidak memungkinkan karena ukuran laboratorium yang tidak cukup besar dan biaya yang dikeluarkan untuk membeli mesin tersebut lebih mahal.

Penelitian ini merancang dan membuat suatu mesin 3D printer guna membantu pekerja dalam proses pembuatan komponen robot sehingga dapat meningkatkan tingkat produktivitas pekerjaan pembuatan komponen robot. Mesin 3D printer yang dirancang ini akan mempermudah pekerja dalam pembuatan komponen robot karena mesin 3D printer ini dapat membuat komponen robot dalam jumlah yang lebih banyak dan presisi jika dibandingkan dengan pembuatan komponen secara manual. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan, terdapat berbagai keluhan mengenai tingkat produktivitas dan kepresisian dalam proses tersebut. Hal ini disebabkan karena sering kali terjadi *human error* sehingga tidak jarang saat pemotongan atau pembuatan lubang meleset dari pola yang sudah ditentukan. Diperlukan adanya mesin 3D printer dalam pembuatan komponen robot agar dapat meningkatkan tingkat produktivitas.

METODE PENELITIAN

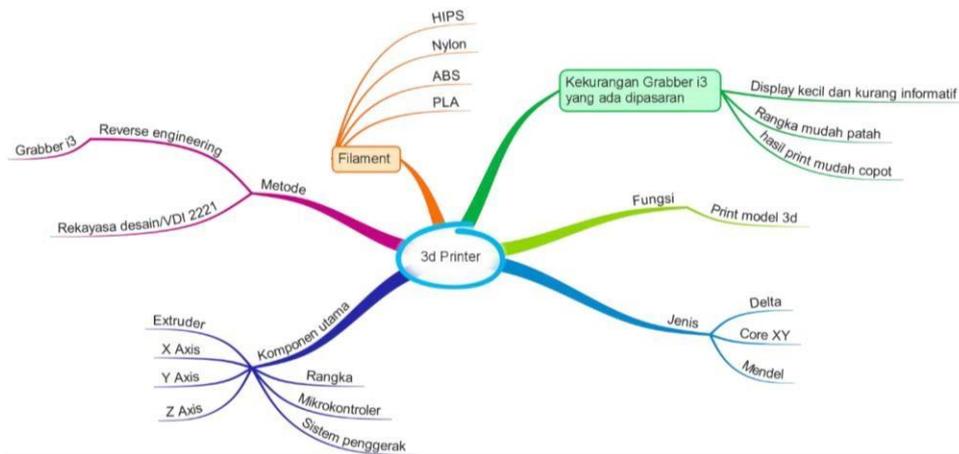
Perencanaan Konsep 3D Printer

Perencanaan konsep 3D printer menggunakan metode *mindmapping* yg dipopulerkan oleh Tony Buzan, seorang penulis dan bintang televisi terkenal dari Inggris. Sistem ini jauh lebih efektif dari sistem mencatat linear yang selama ini kita lakukan sejak masih di bangku sekolah dasar. Mencatat materi runtut ke bawah menggunakan urutan nomor dan angka ternyata tidak sesuai dengan cara bekerja otak kita. Mencatat secara linear berarti menggunakan cara kerja otak kiri, sedangkan mencatat dengan sistem *mindmapping* adalah cara bekerja otak kanan yang melibatkan kreativitas, imajinasi, visualisasi dan berhubungan langsung dengan otak bawah sadar sehingga mudah untuk diingat. Gambar *mindmapping* perencanaan konsep 3D printer dapat dilihat pada Gambar 1.

Dari *mindmapping* dapat dijelaskan bahwa:

1. 3D printer terdapat 3 jenis yaitu: Delta, Core XY, dan Mendel (pada perancangan ini akan dibuat 3D printer jenis mendel)
2. 3D printer memiliki fungsi untuk mencetak model 3D
3. 3D printer pada umumnya memiliki komponen utama: *extruder*, *x axis*, *y axis*, *z axis*, rangka, *micro controler*, dan sistem penggerak
4. Perancangan 3D printer baru ini akan dibuat menggunakan metode *reverse engineering* dengan produk grabber i3, dan untuk pemilihan konsep digunakan metode rekayasa desain/VDI 2221
5. 3D printer dapat mencetak bahan PLA, ABS, Nylon, dan Hips

6. Kekurangan 3D printer *grabber i3* yang ada dipasaran masih memiliki kekurangan diantaranya: rangka mudah patah; displai kecil dan kurang informatif; saat pencetakan 3D model mudah copot.



Gambar 1. *Mindmapping* Perencanaan Konsep 3D Printer

Metode Rekayasa Desain (VDI 2221)[6]

Perancangan dengan menggunakan metode Rekayasa Desain atau VDI 2221 (*Verein Deutcher Ingenieure*) merupakan salah satu metode untuk menyelesaikan permasalahan dan mengoptimalkan penggunaan material, teknologi dan keadaan ekonomi. Ide dan pengetahuan merupakan sumber dasar dari perancangan produk guna memenuhi permintaan konsumen dan demi keuntungan semua pihak tentunya.

Tabel 1. Daftar Spesifikasi Awal

Parameter	Spesifikasi	Demand (D)/ Wish (W)
Geometri	Dimensi Perancangan	W
	Panjang	W
	Lebar	W
	Tinggi	W
Gaya	Titik berat yang tepat	D
	Mempergunakan tangan manusia	D
Energi	Bentuk rancangan hemat material	D
	Energi yang berasal dari listrik	W
	Efisiensi energi tinggi	W
Material	Material mudah didapat	D
	Komponen tidak mudah rusak	W
Perakitan	Material tahan lama	W
	Mudah untuk dibongkar pasang	W
Biaya produksi	Biaya pembuatan terjangkau	D

Setelah menentukan spesifikasi awal (Tabel 1), prinsip solusi sub fungsi perlu dibuat untuk menyeleksi komponen yang akan digunakan pada perancangan mesin 3D printer untuk membuat komponen ROV. Prinsip solusi ini dapat dibuat menjadi beberapa varian dan dianalisis dengan tujuan menghasilkan produk dengan nilai efisien yang tinggi. Setelah membuat daftar spesifikasi awal, prinsip solusi sub fungsi perlu dibuat untuk menyeleksi komponen yang akan digunakan pada perancangan mesin 3D printer proses pembuatan komponen. Prinsip solusi ini dapat dibuat sebanyak yang diinginkan dengan tujuan menghasilkan produk dengan nilai efisien yang tinggi. Setelah prinsip solusi sub fungsi

dibuat, langkah selanjutnya membuat kombinasi yang mungkin sehingga membentuk sistem yang paling menunjang dalam membentuk beberapa varian. Kombinasi prinsip solusi sub fungsi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Prinsip Solusi Sub Fungsi dan Kombinasi Prinsip Solusi Sub Fungsi

No	Prinsip Solusi Sub Fungsi	Keterangan	1	2	3
1	Rangka	Dibuat	MDF	Akrilik	batang besi
2	Micro controller	Beli	Arduino Mega	Arduino Uno	
3	Bentuk Heat Bed	Beli	Bulat	Persegi	
4	Displai	Beli	RepRap Discount Full Graphic	LCD Displai Smart Controller	
5	Sistem Penggerak	Beli	Timing Belt	Rantai	
6	Jenis 3D printer	Dibuat	Mendel	Delta	
7	Arus Power Supply	Beli	15 Ampere	20 Ampere	30 Ampere
8	Jumlah kipas	Beli	1 kipas	2 kipas	3 kipas
9	Sistem extruder	Beli	Direct extruder	Bowden extruder	
10	Ukuran nozzle	Beli	0,2 mm	0,3 mm	0,4 mm

Berdasarkan prinsip-prinsip solusi yang telah dilakukan di atas, didapatkan kombinasi varian sebanyak 5.184 lalu dipilih 3 varian sebagai berikut:

1. V1: 1.2 ~ 2.1 ~ 3.2 ~ 4.1 ~ 5.1 ~ 6.1 ~ 7.3 ~ 8.2 ~ 9.2 ~ 10.3
2. V2: 1.1 ~ 2.2 ~ 3.2 ~ 4.2 ~ 5.2 ~ 6.1 ~ 7.1 ~ 8.1 ~ 9.1 ~ 10.1
3. V3: 1.3 ~ 2.1 ~ 3.1 ~ 4.1 ~ 5.1 ~ 6.2 ~ 7.2 ~ 8.3 ~ 9.2 ~ 10.2

Untuk menentukan varian yang mungkin dilanjutkan dalam proses perancangan ini, harus dilakukan seleksi terhadap varian yang ada. Salah satu cara dalam pemilihan varian dapat dilakukan dengan menggunakan diagram seleksi seperti pada Tabel 3.

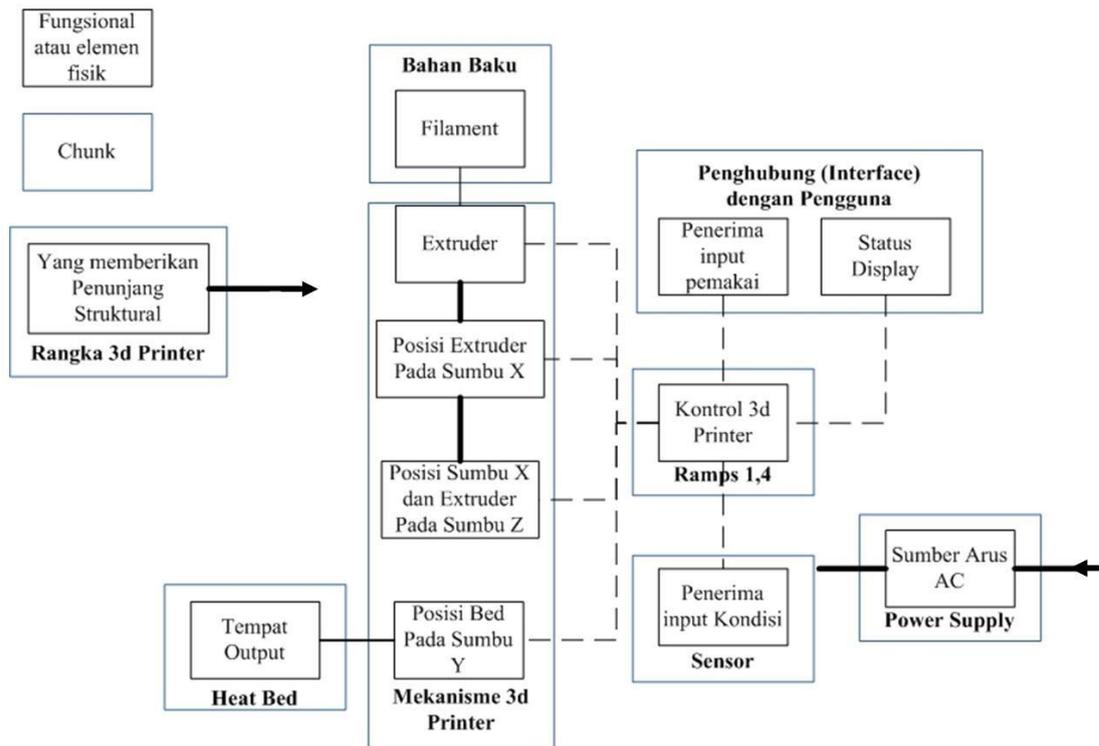
Tabel 3. Pemilihan Varian Solusi

Diagram Seleksi									
Varian dievaluasi dengan kriteria solusi:	Keputusan tanda solusi varian (SV):								
(+) Ya	(+) Meningkatkan solusi								
(-) Tidak	(-) Menghilangkan solusi								
(?) Kekurangan informasi	(?) Mengumpulkan informasi								
(!) Periksa spesifikasi	(!) Memeriksa spesifikasi untuk perubahan								
Sesuai dengan fungsi keseluruhan									
Sesuai dengan daftar kehendak									
Secara prinsip dapat diwujudkan									
Dalam batasan biaya produksi									
Pengetahuan tentang konsep memadai									
Sesuai dengan keinginan pembuat									
Memenuhi syarat keamanan									
								Keterangan	SV
V1	+	+	+	+	+	+	+	Sesuai	+
V2	-	+	+	+	+	-	-	Tidak Sesuai	-
V3	+	+	+	-	+	-	+	Tidak Sesuai	-

Dari tabel 3 dapat diketahui, varian 1 memenuhi kriteria perancangan. Dengan memperhitungkan sisi biaya produksi dan sesuai fungsi yang dikehendaki untuk mesin 3D printer proses pembuatan komponen ini, maka dipilih varian 1 yang akan dilanjutkan ke proses berikutnya.

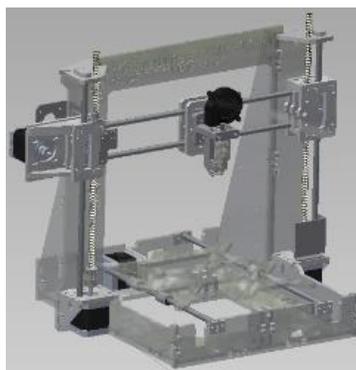
Setelah didapatkan prinsip-prinsip solusi sub fungsi, struktur fungsi atau arsitektur produk perlu dibuat untuk mengetahui tata letak yang terbaik untuk membuat sebuah mesin 3D printer dengan mengetahui aliran material, energi, dan sinyal. Struktur fungsi ini dapat dibuat menjadi bentuk perumusan aliran fungsi.

Setelah terbentuk skema 3D printer selanjutnya adalah pengelompokan elemen-elemen pada skema 3D printer hingga terbentuk menjadi chunk (Gambar 2).



Gambar 2. Skema 3D Printer dan Pengelompokan Elemen 3D Printer Menjadi *Chunk*

Varian 1 terdiri dari rangka yang terbuat dari akrilik dan memiliki ketebalan 5 mm, *micro controler* menggunakan *arduino mega*, *Heat bed* ukuran 20 cm x 20 cm berbentuk persegi, display menggunakan *reprap discount full graphic* yang memiliki tampilan yang lebar, dan sistem penggerak menggunakan timing belt GT2 (Gambar 3).



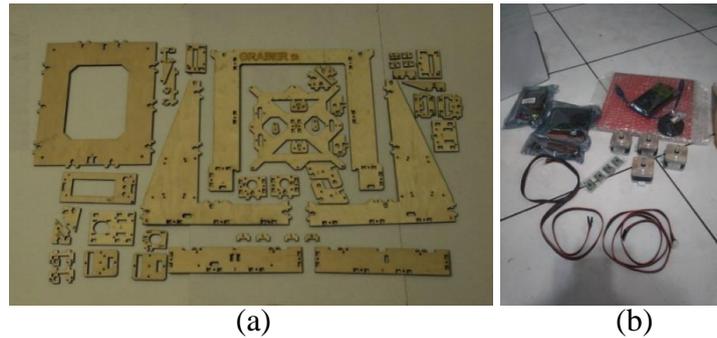
Gambar 3. Rancangan Awal Mesin 3D Printer Terpilih

Kegiatan *Reverse Engineering*

Pada Penelitian ini digunakan metode *reverse engineering*. Pengembangan produk pada penelitian ini menggunakan beberapa prosedur yang dilakukan sebagai berikut: *Disassembly*; *Assembly*; *Benchmarking*; *Design* mesin 3D printer baru; dan *Prototyping*.

1. *Disassembly*

Pada tahap ini di lakukan pembongkaran 3D printer lama guna untuk mendapatkan *bill of material* dan menganalisis fungsi-fungsi dari setiap komponen. Produk yang di bongkar adalah 3D printer *grabber i3* (Gambar 4).



Gambar 4. Rangka dan Komponen Elektronik 3D Printer *Grabber i3* Setelah Dibongkar

Hasil *disassembly* pada 3D printer *grabber i3* didapatkan bahwa dimensi 3D printer adalah 460mm x 450mm x 420mm, dengan jumlah komponen sebanyak 66, dan menggunakan bahan baku kayu MDF (*Medium Density Fibreboard*). Dan dari hasil *disassembly* 3D printer tersebut didapatkan data *Bill of Material*.

Berdasarkan BOM yang telah dijelaskan di atas, dapat diketahui jenis-jenis beserta jumlah dari komponen dan subkomponen yang diperlukan dalam pembuatan 3D printer *grabber i3*. Berikut adalah *part list* dari *grabber i3* yang dapat dilihat pada Tabel 4.

2. Assembly

Pada tahapan ini dilakukan penggabungan kembali komponen-komponen yang sudah dibongkar agar didapat *operation process chart* mesin 3D printer *grabber i3* yang ada dipasaran. Gambar OPC mesin 3D printer *grabber i3* dapat dilihat pada Gambar 5.

3. Benchmarking

Pada tahap *benchmarking* ini dilakukan observasi langsung pada mesin 3D printer *Grabber i3* yang ada dipasaran lalu membandingkan keunggulan dan kelemahan produk sejenis, kemudian menentukan komponen yang ingin *benchmark*. Penyusunan mesin 3D printer baru digunakan 3 produk yang sudah ada dipasaran, dijelaskan pada *Grabber i3* dan *Prusa i3*.

Tabel 4. *Part List* Komponen 3D Printer *Grabber i3*

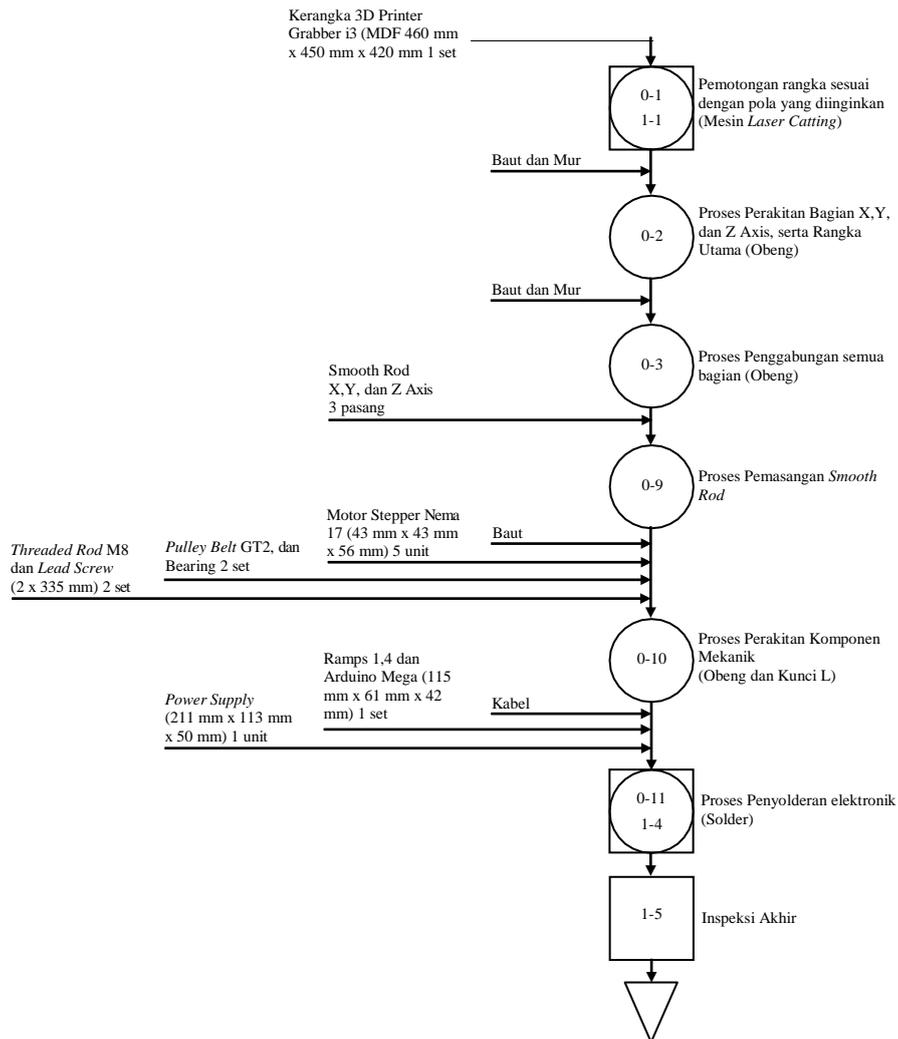
Kode Part	Nama Part	Jumlah	Ukuran/ Bentuk	Make/Buy
SA-1	Rangka	1	400 mm x 350 mm x 370 mm	Buy
SA-2	X Axis	1	470 mm x 120 mm x 115 mm	Make
SA-3	Y Axis	1	350 mm x 220 mm x 50 mm	Make
SA-4	Z Axis	2	42 mm x 42 mm x 365 mm	Make
101	Power Supply 20 A	1	215 mm x 115 mm x 50 mm	Buy
SA-5	Mikrokontroler	1	110 mm x 60 mm x 42 mm	Make
201	Rangka Utama	1	1189 mm x 841 mm x 6 mm	Buy
SSA-1	Bagian Kiri X Axis	1	100 mm x 82 mm x 80 mm	Make
202	Smooth Rod	2	ø8 mm x 400 mm	Buy
SSA-2	Bagian Tengah X Axis	1	75 mm x 82 mm x 115 mm	Make
SSA-3	Bagian Kanan X Axis	1	59 mm x 35,6 mm x 80 mm	Make
SSA-4	Bagian Depan Y Axis	1	20,4 mm x 35,5 mm x 49 mm	Make
SSA-5	Bagian Tengah Y Axis	1	220 mm x 220 mm x 53 mm	Make
203	Smooth Rod	2	ø8 mm x 340 mm	Buy
SSA-6	Bagian Belakang Y Axis	1	71 mm x 55,6 mm x 44 mm	Make
204	Motor Stepper	1	71 mm x 42 mm x 42 mm	Buy
205	Linear Bearing LM8UU	2	ø15 mm x 24 mm	Buy
206	Smooth Rod	1	ø8 mm x 317 mm	Buy
207	Shaft	1	ø18 mm x 25 mm	Buy
208	Lead Screw	1	ø22 mm x 12 mm	Buy
209	Threaded Rod	1	ø8 mm x 317 mm	Buy
210	Limit Switch	3	12 mm x 4 mm x 9 mm	Buy
211	Ramps 1,4	1	107 mm x 62 mm x 29 mm	Buy
212	Motor Driver A4988	4	20 mm x 15 mm x 10 mm	Buy

Lanjutan Tabel 4. Part List Komponen 3D Printer Grabber i3

Kode Part	Nama Part	Jumlah	Ukuran/ Bentuk	Make/Buy
213	Arduino Mega	1	110 mm x 53 mm x 10 mm	Buy
214	Thermistor	2	2 mm x 2 mm x 6 mm	Buy
301	Motor Stepper	1	71 mm x 42 mm x 42 mm	Buy
302	Pulley GT20	1	ø15 mm x 14 mm	Buy
303	Timing Belt	1	390 mm x 6 mm x 10 mm	Buy
304	Linear Bearing LM8UU	3	ø15 mm x 24 mm	Buy
SSSA-1	Extruder	1	85 mm x 42 mm x 78 mm	Buy
305	Bearing	1	ø22 mm x 8 mm	Buy
306	Bearing	1	ø22 mm x 8 mm	Buy
307	Timing Belt	1	286 mm x 6 mm x 10 mm	Buy
308	Linear Bearing LM8UU	3	ø15 mm x 24 mm	Buy
309	Bed	1	220 mm x 220 mm x 3 mm	Buy
310	Motor Stepper	1	71 mm x 42 mm x 42 mm	Buy
311	Pulley GT20	1	ø15 mm x 14 mm	Buy
401	Motor Stepper	1	71 mm x 42 mm x 42 mm	Buy
402	J Head Hot End	1	27,3 mm x 22,3 mm x 81 mm	Buy
403	MK8 Aluminium Extruder	1	42 mm x 16 mm x 78 mm	Buy

1). Grabber i3

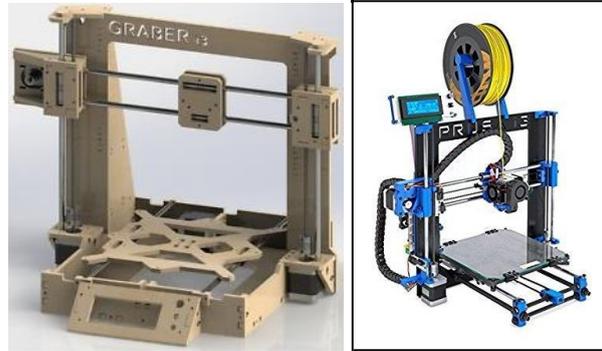
Benchmarking yang didapat dari Grabber i3 adalah sistem penggerak, extruder, hot end, dan rangka utama, dengan pertimbangan rangka Grabber i3 lebih mudah dimanufaktur dibandingkan dengan 3D printer lainnya yg membutuhkan alat khusus untuk manufaktur rangkanya.



Gambar 5. Operating Process Chart Mesin 3D Printer Grabber i3

2). Prusa i3

Benchmarking yang didapat dari *prusa i3* adalah motor nema 17, *Arduino Mega*, *Ramps 1,4*, *pulley* dan *bearing*, *Motor driver*, material rangka, dan *power supply*. *Benchmarking* yang dilakukan dengan *Arduino Mega Ramps 1,4*, dan *motor driver* karena lebih mudah diprogram oleh mahasiswa, dan material *prusa i3* yg terbuat dari akrilik sehingga lebih kuat dibanding *grabber i3* yg terbuat dari MDF (Gambar 6).



(a) (b)
Gambar 6. Grabber i3 dan Prusa i3

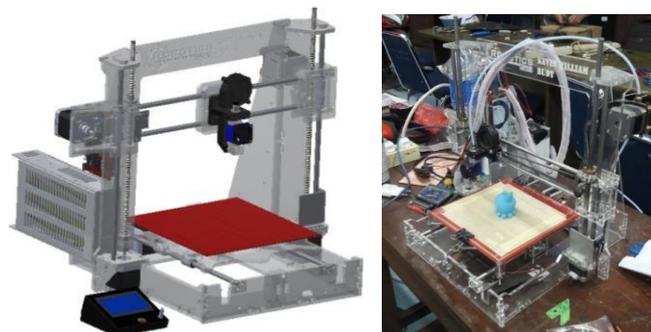
4. Design Mesin 3D Printer Baru

Pada tahap ini dirancang sebuah mesin 3D printer dengan cara menggabungkan dan mengembangkan *grabber i3* dan *prusa i3* dari beberapa tahapan *reverse engineering* sebelumnya didesign menggunakan *Software Autodesk Inventor* dalam bentuk 3D model.

Pada mesin 3D printer ini telah dikembangkan mulai dari rangka yang terbuat dari akrilik dengan dimensi 460 mm x 450 mm x 420 mm, penambahan *heatbed*, penggantian *displai* menjadi *reprap discount full graphic*, menggunakan *power supply 12V 30 A*, menggunakan motor nema 17, menggunakan *micro controller arduino mega* dan *RAMPS 1,4*.

5. Prototyping

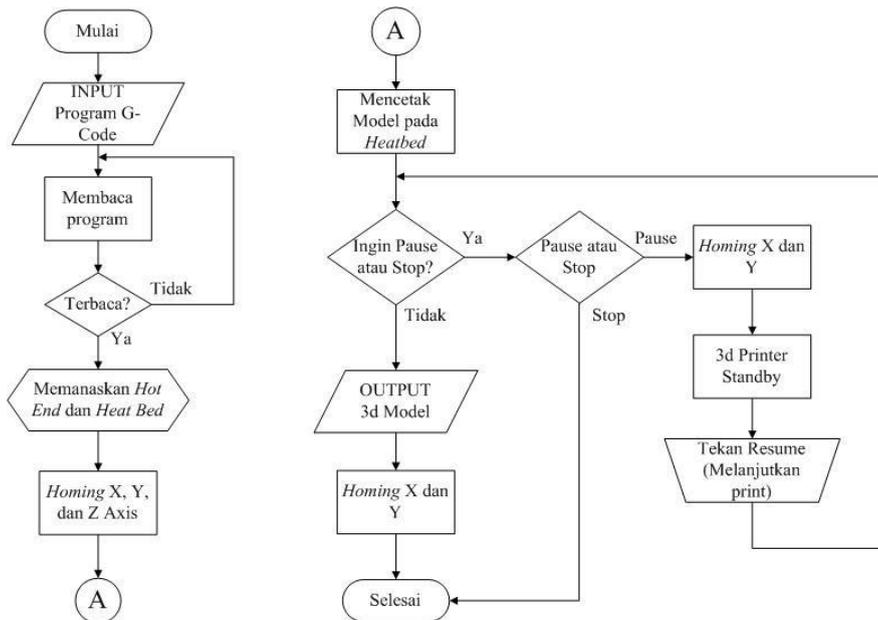
Pada tahap ini mesin 3D printer baru yang sudah didesain atau dirancang, dilanjutkan dengan proses manufaktur dimana rangka 3D printer dengan bahan akrilik dan memiliki tebal 5 mm di manufaktur dengan mesin *laser cutting*. Setelah rangka selesai dimanufaktur dilanjutkan dengan proses *assembly* semua komponen 3D printer (Gambar 7).



(a) Tampak Depan (b) Tampak Samping
Gambar 7. Design Mesin 3D Printer Terbaru

6. Pemrograman 3D printer

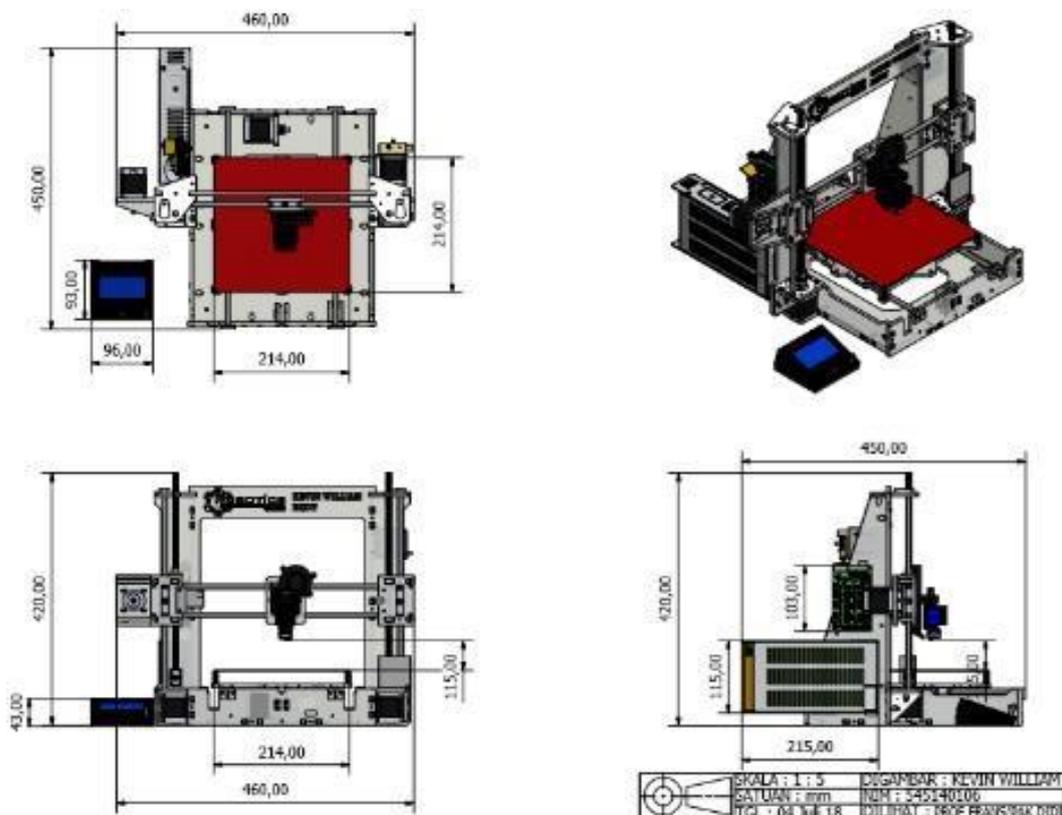
Pada tahap ini akan dibuat sebuah algoritma pemrograman pada 3D printer yang baru. Pada algoritma ini akan dijelaskan program dibaca oleh mikrokontroler dan meneruskannya hingga 3D model dicetak di atas *heatbed*. Algoritma pemrograman pada 3D printer yang baru dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Algoritma Pemrograman Pada 3D Printer Yang Baru

7. Spesifikasi Mesin 3D printer Baru.

Data spesifikasi (Tabel 5) dibutuhkan sebagai acuan dalam manufaktur 3D printer. Dimensi mesin 3D printer terdiri dari panjang X axis sebesar 460 mm, panjang Y axis sebesar 450 mm, panjang Z axis sebesar 420 mm, ukuran *heat bed* sebesar 200 x 200 mm, dan menggunakan komponen mesin motor *stepper nema 17*, *mikrokontroler arduino mega* dan *RAMPS 1,4*, motor *nema 17*, *extruder bowden* dengan *MK8 aluminium*, *J Head Hot end* dengan diameter lubang 0,4 mm, dan *motor driver A4988* (Gambar 9).



Gambar 9. Spesifikasi Mesin 3D Printer

Tabel 5. Spesifikasi Mesin 3D Printer

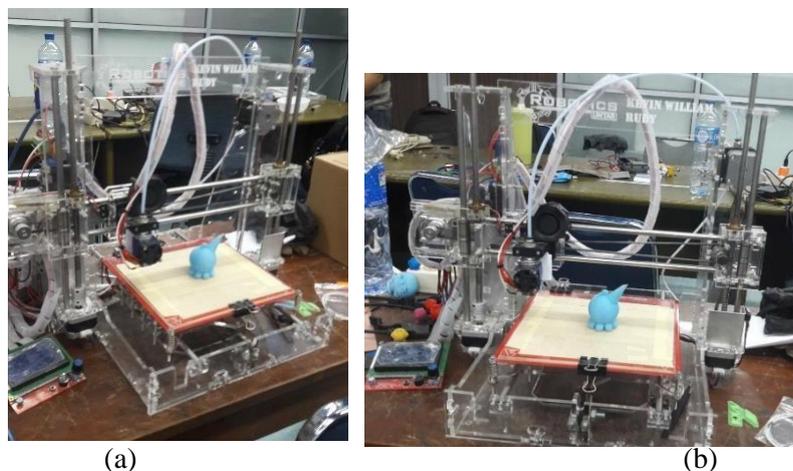
Komponen	Dimensi
Panjang X axis	460 mm
Panjang Y axis	450 mm
Panjang Z axis	420 mm
Ukuran yang dapat di cetak	200 x 200 x 180 mm

Setelah dilakukan pembuatan 3D printer dengan metode *reverse engineering* maka didapat hasil *prototyping* mesin 3D printer yang baru, dimana mesin 3D printer yang baru memiliki rangka yang kuat yg terbuat dari akrilik, menambahkan fitur *heatbed*, dan mengganti displai menjadi rebrap *discount full graphic* yang memiliki displai yg lebih besar dan informatif.

HASIL DAN PERMBAHASAN

Setelah melakukan proses perancangan mesin 3D printer dengan metode *reverse engineering* mulai dari tahapan *diassembly* sampai *prototyping*. Selanjutnya adalah melakukan proses implementasi mesin 3D printer dengan rancangan baru di laboratorium *Robotics* UNTAR guna untuk melihat biaya pembuatan 3D printer yang baru.

Kelebihan 3D Printer baru: Rangka mudah dimanufaktur; Kabel dirangkai dengan rapi; Mudah di program; Mudah dioperasikan; Material rangka tidak mudah patah; Dilengkapi dengan heat sehingga tidak; Displai besar dan informatif. Kekurangan 3D Printer baru: Rangka masih mudah goyang; Displai terpisah dengan mesin; Memiliki luas print yang lebih kecil (Gambar 11).



Gambar 11. Tampak Depan dan Tampak Samping Mesin 3D Printer

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Tahap-tahap *reverse engineering* yang dilakukan untuk mendesain 3D printer baru adalah sebagai berikut:
 - **Diassembly** produk atau pembongkaran 3D printer yang digunakan untuk membuat sebuah 3D printer *grabber i3*.
 - **Assembly** produk atau penggabungan 3D printer.
 - **Benchmarking** dilakukan untuk membandingkan antara 3D printer yang sudah ada agar dapat di kembangkan dan dilakukan inovasi, agar dapat *didesign* sebuah 3D printer yang lebih optimal.

- **Design** mesin 3D printer baru hasil *benchmarking* ke 3D CAD model menggunakan *software* autodesk inventor.
 - **Prototyping** adalah akhir dari proses *reverse engineering* menghasilkan suatu produk baru yang lebih inovatif yaitu 3D printer baru yang dilengkapi dengan *heatbed* dan *displai reprop discount full graphic*.
2. Dari hasil rancangan mesin 3D printer ini didapatkan:

Kelebihan *grabber i3*: rangka mudah dimanufaktur; kabel dirangkai dengan rapi; mudah di program; mudah dioperasikan dan kekurangan *grabber i3*: material rangka mudah patah; hasil cetak mudah copot; displai kecil dan kurang informatif.

Kelebihan 3D Printer baru: rangka mudah dimanufaktur; kabel dirangkai dengan rapi; mudah di program; mudah dioperasikan; material rangka tidak mudah patah; dilengkapi dengan *heat bed* sehingga hasil cetak tidak mudah copot; displai besar dan informatif dan kekurangan 3D Printer baru: rangka masih mudah goyang; displai terpisah dengan mesin; memiliki luas print yang lebih kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Wibowo, Dwi Basuki, 2006, Memahami *Reverse Engineering* Melalui Pembongkaran Produk Di Program S-1 Teknik Mesin, *Jurnal.Unimus.ac.id*, 4 (1):20a-31.
- [2]. BPS, 2015, *Efisiensi Sistem Produksi Dan Tataniaga Hortikultura*, Buku 3, Jakarta.
- [3]. Eilam, Eldad., 2005, *Reversing: Secrets of Reverse Engineering*. Indianapolis: Wiley Publishing.
- [4]. Otto Kevin N., and Wood Kristin L, 1998, *Product Design, Techniques in Reverse Engineering and Product Development*, Printed USA.
- [5]. Otto Kevin N., and Wood Kristin L, 1998, "A *Reverse Engineering and Redesign Methodology*", *Jurnal Methodology* http://alvaresrtech.com/temp/PDP2011/ems665.ogliari.prof.usfc.br.Restricto/product%20evolution%20_%20%20reverse%20engineering%20and%20redesign%20methodology.pdf. (diunduh 29 Februari 2018, jam 19.25).
- [6]. Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., and Grote, K.H., 2007, *Engineering Design: A Systematic Approach*. 3rd ed., London.
- [7]. Prasojo, Tuwuh. W, 2016, Perancangan Ulang Mesin Pencacah Rumput Dengan Metode *Reverse Engineering*, *Jurnal Teknik Industri Universitas Muhammadiyah, Surakarta*.
- [8]. Reprap, 2018, Komponen 3D Printer, http://reprap.org/wiki/Graber_i3 (diakses 24 Februari 2018, jam 20.10).
- [9]. Ulrich, Karl T. dan Steven D. Eppinger , 2001, *Perancangan Dan Pengembangan Produk*. Salemba Teknika, Jakarta.
- [10]. Wibowo, Ganang. F, 2016, Perancangan Ulang Produk Pti 1 Menggunakan Metode *Reverse Engineering*, *Jurnal Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- [11]. Nugroho, Wahyu Adi, 2008, Perancangan Ulang Alat Pengupas Kacang Tanah Untuk Meminimalkan Waktu Pengupasan, Tugas Akhir Teknik Industri Universitas Muhammadiyah, Surakarta.