

Fabrication Laboratory (Fablab): Ruang Kreasi dan Inovasi

**Miarti Khikmatun Nais
Asep Kadarohman
Hernani
Triannisa Rahmawati
Rosi Oktiani
Rosyidah Syafaatur Rohmah
Qonita Mu'minah
Febriati Dian Mubarokah**



KATA PENGANTAR

Terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah mencerahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan modul “Fabrication Laboratory: Ruang Kreasi dan Inovasi” ini. Terima kasih juga Penulis ucapkan kepada seluruh pihak dan rekan yang telah berkontribusi dalam proses penyelesaian modul ini.

Penulis mempersesembahkan modul yang diharapkan dapat membantu para mahasiswa dalam berkreasi dan berinovasi untuk menghasilkan produk-produk yang kreatif dan inovatif. Modul ini berisi petunjuk praktis dalam bekerja di Fabrication Laboratory (Fablab) yang harapannya dapat menjadi panduan bagi mahasiswa.

Penulis percaya bahwa mahasiswa memiliki kreativitas yang tidak terbatas, sehingga mahasiswa mampu melahirkan ide-ide kreatif dalam menyelesaikan berbagai permasalahan yang ada. Penulis berharap modul ini dapat menjadi sahabat setia dalam proses kreasi dan inovasi mahasiswa.

Bandung, Oktober 2024

Penulis

ACKNOWLEDGEMENT

Tim penulis berterima kasih atas dukungan yang diberikan Universitas Pendidikan Indonesia atas penyediaan ruangan Fabrication Laboratory (Fablab) serta kolaborator kami dalam bentuk konsorsium dengan Leading University Project for International Cooperation (LUPIC), Sogang University, melalui the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (MOE), Korea (NRF-2023H1A7A2A02000090), dimana LUPIC/Sogang University telah memberikan bantuan penyediaan alat Fablab berupa laser cutter, 3D printer, 3D scanner, UV printer, UV DTF, cutting machine, dan peralatan pendukung lainnya dengan total hampir mencapai Rp. 800.000.000 rupiah.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	I
ACKNOWLEDGEMENT	II
DAFTAR ISI.....	III
BAB 1 FABRICATION LABORATORY (FABLAR).....	- 1 -
APA ITU FABLAR?.....	- 1 -
PERKEMBANGAN FABLAR DI DUNIA.....	- 2 -
BAB 2 PENGOPERASIAN ALAT-ALAT FABLAR	- 7 -
A. 3D PRINTER	- 7 -
B. CNC LASER.....	- 15 -
C. 3D SCANNER.....	- 20 -
BAB 3 PEMODELAN 3 DIMENSI.....	- 28 -
BAB 4 MEDIA PEMBELAJARAN BERBASIS CREATIVE THINKING	- 37 -
APA ITU <i>CREATIVE THINKING</i> ?	- 37 -
JENIS-JENIS <i>CREATIVE THINKING</i>	- 37 -
TAHAPAN <i>CREATIVE THINKING</i>	- 38 -
DAFTAR PUSTAKA.....	- 41 -

BAB 1 | FABRICATION LABORATORY (FABLAB)

Apa itu Fablab?

Fabrication Laboratory (Fablab) atau laboratorium fabrikasi digital, adalah tempat untuk bermain, belajar, berkreasi, dan berinovasi. Fablab menyediakan akses ke lingkungan, keterampilan, material, dan teknologi canggih yang memungkinkan siapa pun untuk membuat (hampir) apa pun. Fablab dilengkapi dengan berbagai mesin dengan teknologi terkini. Mesin-mesin tersebut dikendalikan oleh komputer yang dapat digunakan untuk berbagai produksi dengan skala yang berbeda-beda serta dengan bahan yang berbeda-beda pula.

Konsep Fablab lahir di Massachusetts Institute of Technology (MIT) dari ide yang dikenal dengan "*How to make (almost) anything*". Gagasan tersebut pada prinsipnya memberi kesempatan kepada setiap orang untuk menciptakan objek apapun sesuai dengan ide, imajinasi, dan kreativitas yang dimilikinya. Dari konsep tersebut jaringan Fablab yang lahir di MIT Media Lab semakin berkembang berkat berkolaborasi dengan dua komunitas yaitu "Grassroots Invention Group" dan "Center for Bits and Atoms" (CBA).

Fablab merupakan proyek yang membawa kita menuju teknologi yang memungkinkan semua orang mengembangkan banyak proyek sesuai dengan tujuan yang ditentukan. CBA telah berhasil memiliki laboratorium manufaktur digital yang memenuhi standar tinggi di mana solusi skala yang berbeda dapat digunakan, dengan tujuan mengembangkan teknologi molekuler yang memungkinkan penerapan perangkat untuk pengembangan berbagai proyek.

Fablab diyakini sebagai cara paling berkelanjutan untuk menghadirkan produk dari revolusi digital kepada masyarakat dengan memungkinkan mereka untuk berpartisipasi dalam menciptakan perangkat teknologi mereka sendiri untuk menemukan solusi bagi masalah yang mereka hadapi.

Konsep/pendekatan Fablab yang didasarkan pada gagasan kolaborasi, desentralisasi, partisipasi, dan demokratisasi telah diakui oleh Bank Dunia sebagai cara yang sangat efisien untuk mendukung pendidikan STEM (sains, teknologi, rekayasa, matematika), komersialisasi penelitian di lembaga pendidikan tinggi, evolusi kota pintar dan pengelolaan limbah, serta pengembangan industri lokal dan kewirausahaan.

Di seluruh dunia, jaringan Fablab telah dikembangkan. Pusat-pusat ini terdiri dari lokakarya dengan tim yang beranggotakan beberapa ribu dolar dengan tujuan untuk membawa orang-orang ke teknologi manufaktur digital ini dari berbagai sudut pandang dan agar orang-orang mengubah lingkungan mereka, untuk memenuhi kebutuhan budaya dan masyarakat tempat mereka berada. Aktivitas di Fablab ini bervariasi menurut situasinya, mulai dari studi material dan pengembangan teknologi, hingga bantuan dan pelatihan tepat waktu bagi orang-orang yang tidak memiliki pengetahuan dasar di bidang ini. Penelitian dilakukan dalam energi alternatif, kesehatan, pertanian, dll.

Perkembangan Fablab di Dunia

Fablab Network memiliki jaringan yang luas berupa komunitas kreatif yang terdiri dari para fabrikator, seniman, ilmuwan, insinyur, pendidik, mahasiswa, dan profesional yang berlokasi di lebih dari 100 negara dan 1.750 FabLab di seluruh dunia. Dari laboratorium berbasis komunitas hingga pusat penelitian tingkat lanjut, Fablab memiliki tujuan yang sama, yaitu mendemokratisasi akses ke perangkat untuk penemuan teknis. Komunitas ini sekaligus merupakan jaringan manufaktur, kampus pendidikan teknis terdistribusi, dan laboratorium penelitian terdistribusi yang berupaya mendigitalkan fabrikasi, menciptakan generasi manufaktur dan fabrikasi pribadi berikutnya.

Fablab mencerminkan minat dan kebutuhan komunitas yang menjadi tuan rumahnya. Setiap Fablab memiliki karakteristik yang berbeda, berdasarkan komunitas tempat lab tersebut berada.

1. LAB FAB SOSHANGUVE

Lab ini berada di sebuah kota di Afrika Selatan, tepat di luar Pretoria, yang berfokus pada komunitas, dan rekayasa sosial di sekitar komunitas. Fab Sosh bermula dari sebuah komunitas kecil dibidang kesehatan. Komunitas tersebut dijalankan oleh sekelompok pemuda lokal yang disebut Bright Youth Council. Disebelah komunitas tersebut terdapat percetakan kecil yang turut mendedikasikan sebagian besar komputernya untuk mengajar anak-anak, remaja, dan orang dewasa dalam menggunakan komputer dan mendesain menggunakan komputer. Setelah selesai mendesain, mereka akan berjalan ke Fablab yang akan membantu mereka mempelajari mesin, elektronik, dan proses fabrikasi serta alur kerja. Lab ini kemudian memperluas layanan mereka untuk membantu masyarakat dalam membuat prototipe untuk ide-ide rintisan bisnis kecil. Lab fabrikasi ini juga untuk menggunakan program pendidikan, Fab Academy, yang kini menjadi sumber pendapatan yang mendukung operasional Fablab. Fab Sosh saat ini mendapatkan pendanaannya dari CSIR/DST (pemerintah) dan dari perusahaan manufaktur besar yang menjadi mitranya.

2. UTRECHT FAB LAB: PROTOSPACE

Fab lab yang berlokasi di Utrecht, Belanda, fokus pada bisnis kecil dan kegiatan kewirausahaan. Lab ini difungsikan sebagai fasilitas pembuatan prototipe yang juga sarat akan misi sosial. Protospace memiliki 2 desainer/fabrikator, satu staf IT, seorang administrator, dan manajer bisnis/penggalang dana. Protospace menyediakan layanan desain dan fabrikasi profesional untuk bisnis kecil selama 4 hari seminggu dengan biaya tertentu. Protospace terbuka untuk masyarakat umum beberapa hari

seminggu untuk akses gratis ke lab fabrikasi. Pendanaan Protospace sekitar 50% mandiri dan sisanya merupakan dukungan dari berbagai pihak.

3. UNIVERSITY OF NAIROBI SCIENCE AND TECHNOLOGY PARK FAB LAB

Lab ini merupakan lab fabrikasi pertama yang terintegrasi dengan lingkungan inkubator bisnis. Lab ini terletak di dalam kampus Universitas, tetapi tidak dengan satu departemen, melainkan berdiri sendiri sebagai sentral Sains dan Teknologi yang mendapat support dari pemerintah. Penggunanya adalah inovator dan entrepreneur lokal serta lulusan Universitas yang kebanyakan berasal dari bidang teknik. Lab fabrikasi ini menjadi sumber daya yang luar biasa bagi para peneliti dan mahasiswa untuk mengerjakan prototipe dan ide, dan yang terpenting, untuk menyempurnakan ide yang sudah dihasilkan.

Lab ini memiliki sekitar 8-10 ide bisnis kecil yang sedang diinkubasi. Meskipun hanya beberapa ide yang benar-benar berasal dari lab ini, semua penemu menyempurnakan desain mereka di lab tersebut. FabLab ini juga digunakan untuk melatih masyarakat agar memiliki keterampilan teknis tingkat lanjut melalui Fab Academy. Lab ini dinilai cukup berhasil sehingga pemerintah ingin berinvestasi dalam jaringan lab fabrikasi dalam konteks yang sama di seluruh Kenya. Aspek yang menarik dari lab ini adalah hubungannya dengan pemerintah, yang mendukung lab tersebut baik berupa kebijakan, termasuk tarif impor untuk melindungi bisnis yang sedang berkembang di lab fabrikasi tersebut. Sejauh ini lab tersebut sepenuhnya didanai pemerintah, dengan harapan inkubator akan mengambil alih dukungan finansial di masa mendatang.

4. MC2STEM HIGH SCHOOL FAB LAB

MC2STEM Fablab lahir dari kerjasama antara GE Electric Company dengan Cleveland public school. Lab ini merupakan Fablab pendidikan yang

khusus ditujukan untuk siswa sekolah menengah atas. Fablab dihadirkan di tengah sekolah untuk mendukung pembelajaran STEM. Sekolah juga merancang kurikulum yang mengintegrasikan Fablab dalam setiap disiplin ilmu yang diajarkan di sekolah (matematika, sains, sastra, bahasa Inggris, sejarah, teknologi, teknik, bahasa asing). Mereka telah merancang 10 modul (setiap modul berdurasi 10 minggu) yang membahas berbagai konsep, dan setiap mata pelajaran menyisipkan konten dan keterampilan fabrikasi dalam mengajarkan modul-modul tersebut. Misalnya, pada proyek Electric Light, para siswa merancang proyek tentang sejarah cahaya, penggunaan cahaya, kecepatan cahaya, penggunaan cahaya dalam budaya, teknologi dan sains cahaya, dll. Lab ini berlokasi di kampus perusahaan (GE Lighting Company) sehingga para teknisi GE bisa datang dan bekerja di lab untuk membantu membimbing para siswa menyelesaikan proyek, melalui dari proses desain, rekayasa, dan fabrikasi. Para siswa juga dapat magang dan bekerja dengan para profesional hebat di bidang sains, rekayasa, dan teknologi.

5. FABLAB JABABEKA

Jababeka merupakan salah satu Fablab terbesar di Indonesia. Lab ini merupakan pusat teknologi & solusi industri, pengembangan startup, dan pengembangan komunitas akademik & masyarakat yang berada di Kawasan Industri Jababeka, Cikarang, Bekasi, Jawa Barat yang saat ini berfokus pada tema industri 4.0, Society 5.0, dan Net Zero Emissions.

Fablab Jababeka juga merupakan salah satu PIDI Satelite di Indonesia yang merupakan inisiasi Kementerian Periundustrian Republik Indonesia sebagai wadah para stakeholder seperti tenant industri, pelajar, masyarakat, pemerintah hingga media untuk saling berkolaborasi dalam mewujudkan industri 4.0 di Indonesia.

Fablab didesain bagi siapapun yang ingin mencoba untuk belajar dan berkreasi. Lab ini memberikan berbagai program workshop dan training; komunitas untuk berdiskusi dan berkumpul dengan teman-teman yang

memiliki minat yang sama dalam berbagai event di Fablab; mencoba mengutak-atik barang dan teknologi yang sudah ada; juga membuat kreasi baru yang mungkin belum pernah ada sebelumnya.

BAB 2

PENGOPERASIAN ALAT-ALAT FABLAB

Setiap Fablab memiliki peralatan fabrikasi yang berbeda-beda sesuai dengan jenis dan tujuan dari komunitas yang menaunginya. Biasanya Fablab dilengkapi dengan perangkat untuk desain dan pemodelan seperti 3D scanner dan 3D printer, perangkat pembuatan prototipe dan fabrikasi seperti CNC laser cutter, dan berbagai perangkat pendukung lainnya. Umumnya peralatan-peralatan tersebut sudah memiliki teknologi yang canggih dan mudah untuk dioperasikan. Akan tetapi terdapat beberapa hal yang harus menjadi perhatian untuk mengoptimalkan performa dan masa pakai dari masing-masing alat.

A. 3D Printer

3D printer merupakan printer yang mencetak objek dalam bentuk 3 dimensi. Umumnya, 3D printer digunakan untuk mencetak produk konsumen (kacamata, alas kaki, desain, furnitur), produk industri (alat bantu dan perkakas manufaktur, prototipe, suku cadang penggunaan akhir yang fungsional), prototipe otomotif dan kedirgantaraan, serta berbagai suku cadang. Printer ini menggunakan bahan dasar berupa filamen yaitu termoplastik menyerupai benang. Filamen ini juga terbuat dari berbagai jenis bahan seperti ABS (Acetonitrile Butadiene Styrene), PETG (Polyethylene terephthalate glycol), dan PLA (Polylactic Acid).



Gambar 1. Filamen 3D Printer

Flashforge adalah salah satu produsen 3D printer yang sudah mengembangkan berbagai jenis 3D printer sejak tahun 2011. Perusahaan ini sudah meluncurkan berbagai seri 3D printer di antaranya Flashforge Adventure 3, Flashforge Adventure 3, Flashforge Creator Pro, Flashforge Adventure 5M, dan Flashforge Guider.



Gambar 2. Flashforge Adventurer 3 Series

Flashforge Adventurer 3 merupakan 3D printer yang cocok untuk pemula dan sangat praktis dalam pencetakan objek 3D baik di rumah, sekolah, maupun workshop. Printer ini cukup ramah pengguna karena dilengkapi dengan fitur-fitur canggih yang mudah digunakan. Meskipun ukurannya kecil, printer ini dapat mencetak objek dengan ukuran $150 \times 150 \times 150$ mm. Bahan dasar (filamen) yang dapat digunakan juga beragam seperti PLA, PLA+, PLA Lite, dan ABS.

Petunjuk Pengoperasian Flashforge Adventurer 3

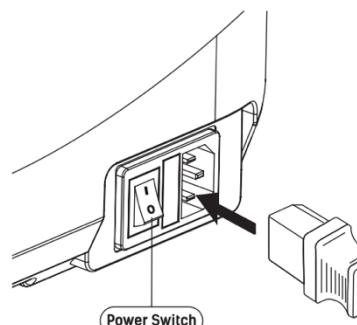
1. Menghidupkan dan mematikan alat

Untuk menghidupkan alat langkah yang harus dilakukan sebagai berikut.

- Hubungkan kabel power ke sumber listrik
- Nyalakan power switch
- Tunggu hingga layar menyala.

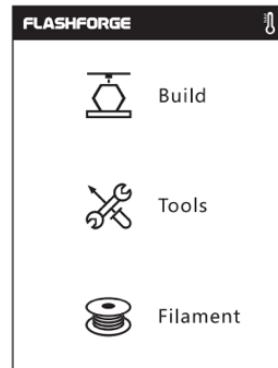
Untuk mematikan alat:

- Matikan power switch
- Lepas kabel dari sumber listrik

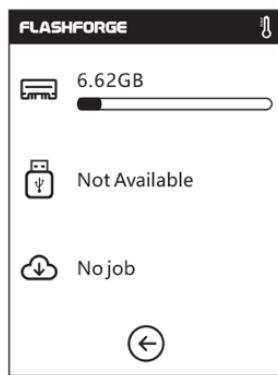


2. Menu Interface

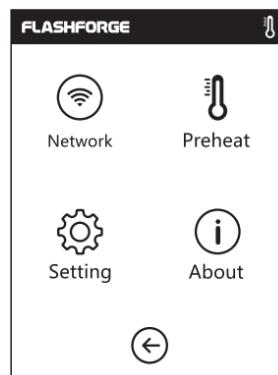
Terdapat 3 menu utama pada layar alat yaitu Built, Tools, dan Filament.



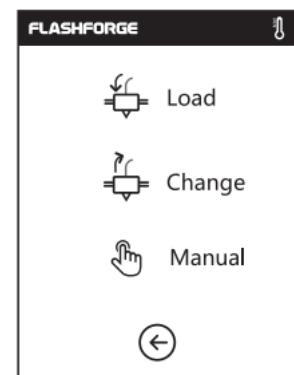
Menu Utama



Built



Tools



Filament

2.1 Built

Menu “Built” digunakan untuk mencetak objek baik dari local memory, USB stick maupun, koneksi wireless.

2.2 Tools

Network: untuk menghubungkan printer dengan PC, laptop maupun internet.

Preheat: untuk memanaskan extruder maupun platform.

Setting: untuk melakukan pengaturan pada printer

About: menyajikan informasi tentang printer

2.3 Filament

Load: untuk memasukkan filamen ke dalam printer

Change: untuk mengeluarkan filamen dari printer

Manual: mengatur filamen secara manual

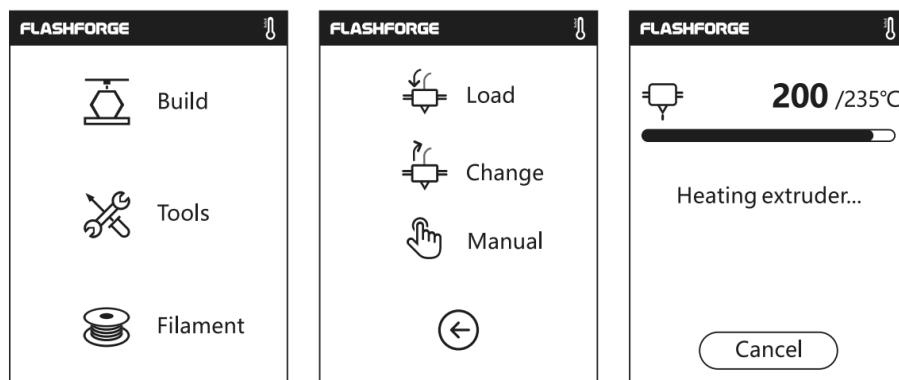
3. Memasang dan melepas filamen

Memasang filamen:

- Nyalakan printer
- Buka penutup filamen pada sisi samping
- Selipkan filamen pada slot sesuai tanda panah



- Pada layar tekan menu Filament > Load



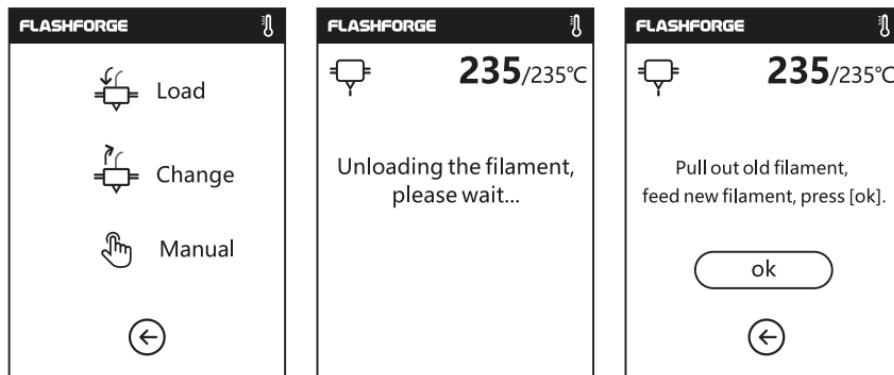
Tunggu proses pemanasan extruder

- Klik Ok saat filamen mulai menetes dari nozzle



Melepas/mengganti filamen:

- Klik menu Filament > pilih Change



Biarkan filamen tertarik keluar

- Klik OK saat filamen sudah terlepas dari printer

4. Menyiapkan model 3 dimensi

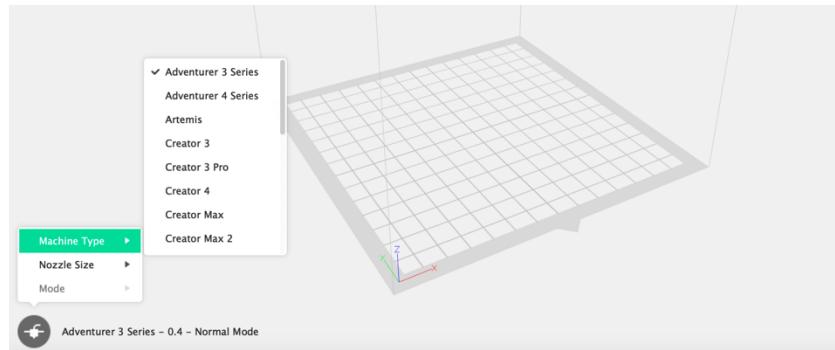
Model 3 dimensi dapat diperoleh memelalui beberapa cara yaitu:

- a. mengunduh model melalui website seperti Thingiverse, Sketchfab, Turbosquid
- b. membuat model menggunakan aplikasi seperti Blender, Tinkercad, Autodesk Maya
- c. memindai objek menggunakan 3D scanner.

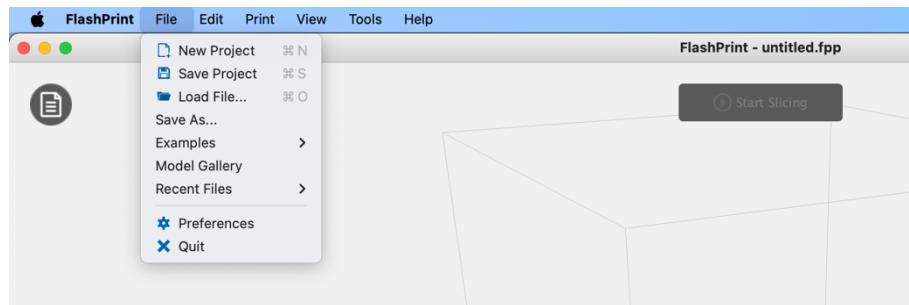
Pencetakan model 3D menggunakan Flashforge Adventure 3 memerlukan apliaksi pendukung yang dikenal dengan Flashprint. Langkah-langkah yang harus dilakukan sebelum mencetak objek 3D sebagai berikut.

Mengatur jenis printer

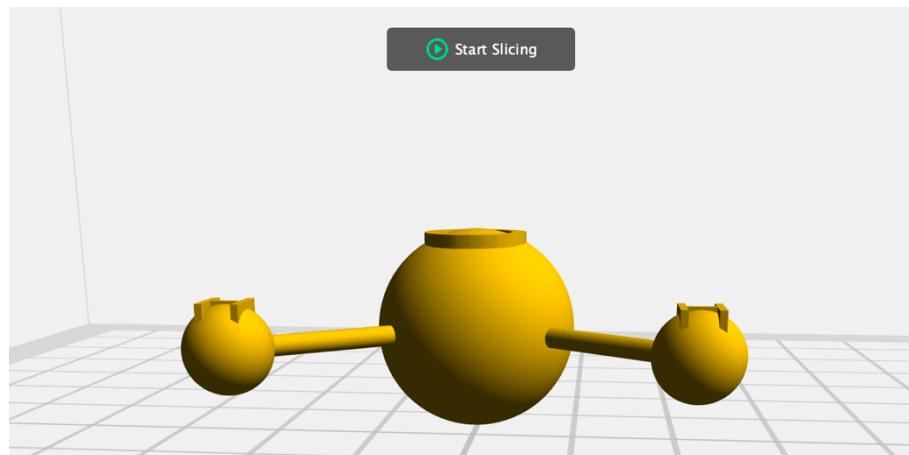
- Buka aplikasi Flashprint



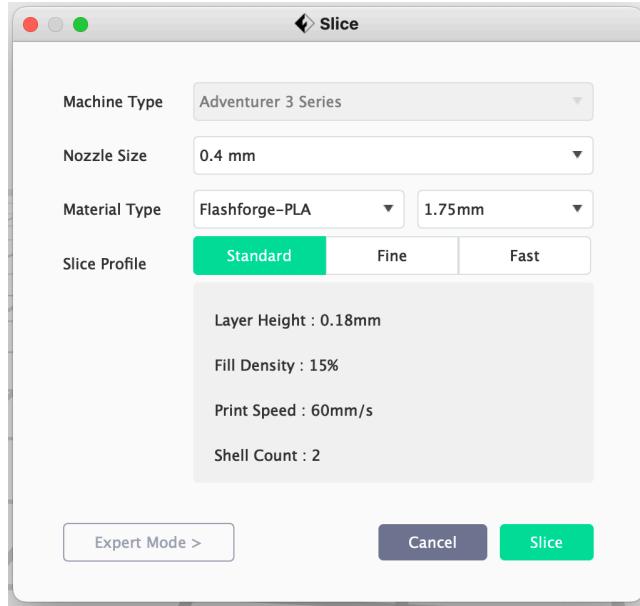
- Atur jenis mesin yang digunakan dengan memilih Adventure 3 Series
- Klik menu File > pilih Load File untuk memasukkan file yang akan dicetak



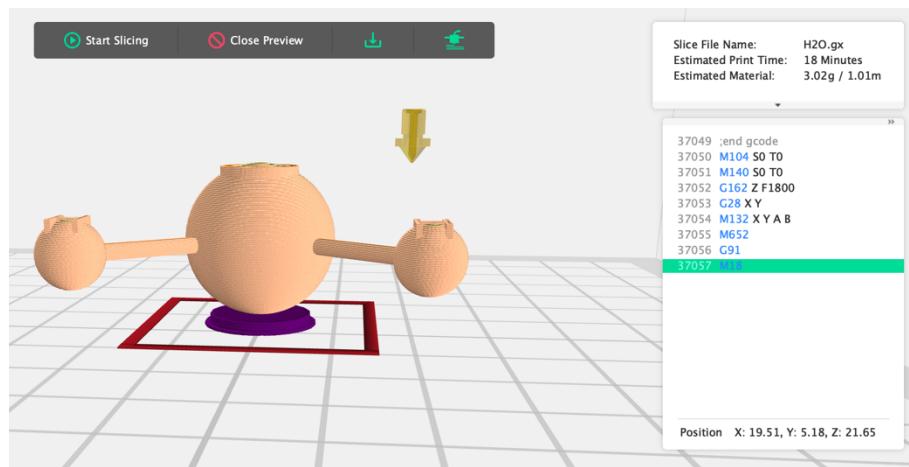
- Atur objek menggunakan menu-menu yang tersedia pada Flashprint
 - Set View: melihat penampakan objek dari arah tertentu
 - Move: mengubah letak objek (disarankan meletakkan objek ditengah saat pencetakan)
 - Rotate: mengubah orientasi/memutar objek
 - Scale: mengubah ukuran objek
 - Cut: memotong objek menjadi beberapa bagian
 - Duplicate: menggandakan objek
 - Support: memberikan penyangga pada objek yang melayang/melawan gravitasi
 - Connect Machine: menghubungkan dengan printer secara wireless
- Setelah pengaturan selesai, klik Start Slicing



- Pilih filamen pada Material Type, lalu klik Slice



- Klik Slice Preview untuk melihat durasi pencetakan dan massa bahan yang dibutuhkan



- Klik untuk mengunduh file, atau klik untuk mencetak objek melalui Wireless transfer.

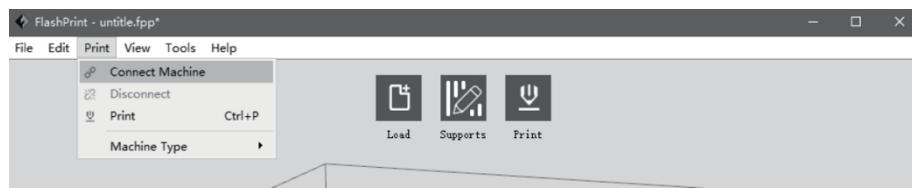
5. Mencetak objek 3 dimensi

File transfer

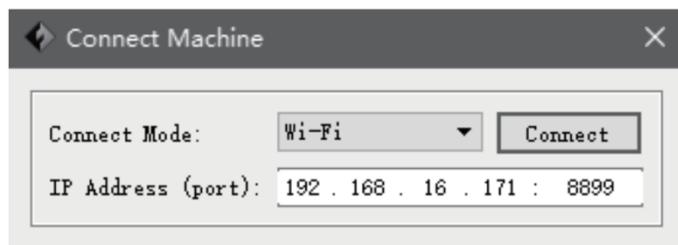
Cara 1: Wireles transfer

- Tekan menu Tools > Network > Wifi
- Nyalakan Wifi dengan menekan tombol
- Pilih jaringan sesuai nama printer dan masukkan password
- Buka aplikasi Flashprint

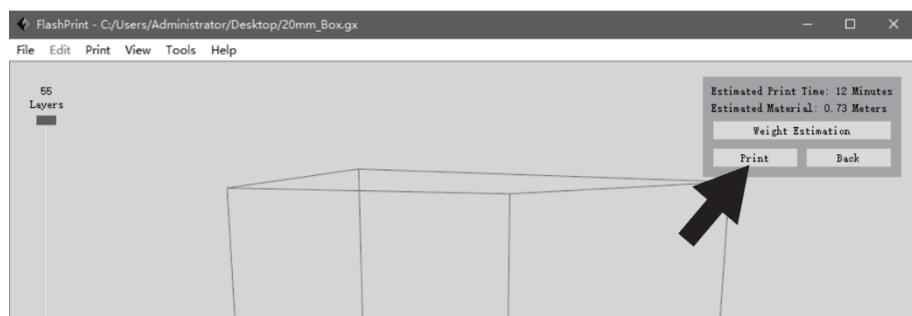
- Pilih objek yang akan di print
- Klik Print > Connct Machine



- Pilih mode Wifi dan sesuaikan IP Address

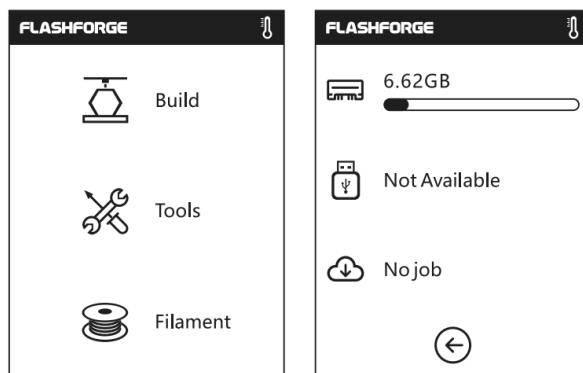


- Klik Print pada dialog yang muncul

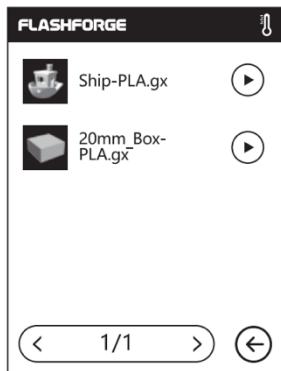


Cara 2: USB transfer

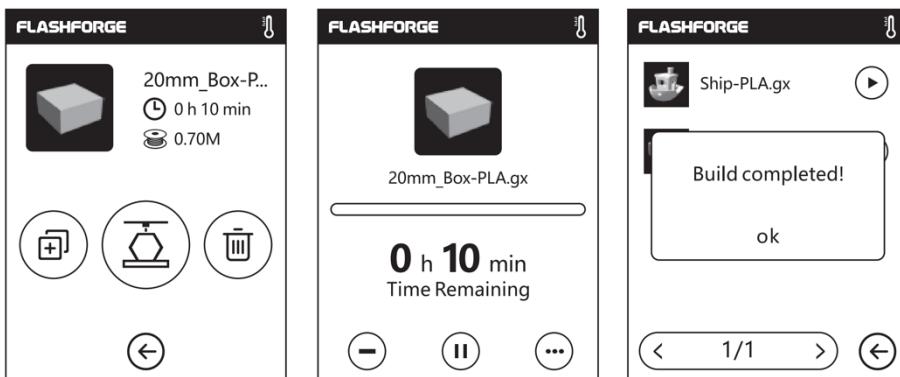
- Salin file yang akan dicetak kedalam USB flash drive
- Hubungkan USB dengan printer
- Klik menu Built > pilih USB Stick



- Pilih file yang akan dicetak dengan menekan  pada layar



- Klik  untuk mulai mencetak objek



Tunggu hingga proses pencetakan selesai

B. CNC Laser

CNC Laser (Computer Numerical Control) adalah alat yang memiliki fungsi untuk mengukirm, mencetak, maupun mencetak berbagai tulisan dan kaligrafi secara otomatis berdasarkan media yang digunakan seperti Acrilic, Fiber, Almunium, dan kayu. Salah satu produsen yang menghasilkan alat laser cutting ada Zaiku. Perusahaan ini telah merilis beberapa tipe laser cutting diantaranya Zaiku CNC LS 1390 150W CO₂ dan Zaiku CNC LS-6040 100W CO₂.



Gambar 4. Zaiku CNC LS 1390

150W CO₂



Gambar 5. Zaiku CNC LS-6040

100W CO₂

Zaiku CNC Laser dapat digunakan untuk memotong dan menggrafir akrilik, kayu, triplek, kain dan kaca. Alat ini juga dapat menggrafir cat pada besi, namun belum dapat digunakan untuk memotong lempengan besi. Alat seri ini dapat diupgrade dengan penambahan nozzle khusus yang dapat memotong plat besi. Diantara berbagai tipe Zaiku CNC Laser, Zaiku CNC LS-6040 100W CO₂ sangat cocok digunakan dalam workshop skala kecil seperti disekolah. Alat ini memiliki area potong seluas 60x40 cm sehingga cocok untuk kegiatan fabrikasi di sekolah maupun universitas.

Pengoperasian Zaiku CNC LS-6040 100W CO₂

1. Menyalakan dan mematikan alat

Untuk menyalakan alat, langkah-langkah yang harus dilakukan sebagai berikut.

- Nyalakan blower dengan menghubungkan kabel ke sumber listrik (Blower berfungsi untuk menghisap debu dan partikulat yang dihasilkan selama proses fabrikasi).
- Hubungkan kabel power mesin ke sumber listrik.
- Hubungkan kabel USB PC dengan Mesin



- Buka tutup mesin (Terdapat pegas/piston pada tutup mesin)
- Putar Main Switch searah dengan jarum jam, tunggu hingga nozzle laser berada pada sisi kanan atas bidang kerja.



- Tekan Laser Switch untuk menyalakan laser.
- Pada sisi kanan mesin terdapat Emergency Stop yang sangat penting dalam keadaan darurat. Emergency Stop dapat membuat mesin berhenti beroperasi jika terjadi kondisi yang membahayakan.

Untuk mematikan alat berikut Langkah-langkah yang harus dilakukan:
(Sebelum mematikan alat, pastikan kekuatan laser sudah diunah kembali ke angka 0).



- Tekan kembali Laser Switch untuk mematikan laser.
- Tekan Main Switch.
- Cabut kabel USB dan kabel power.
- Cabut kabel power untuk mematikan blower.

2. Leveling bidang kerja

Sebelum memulai cutting/engraving, perlu dilakukan leveling terhadap nozzle laser. Proses ini berfungsi untuk mengoptimalkan hasil dan mencegah kerusakan pada alat.

- Letakkan bahan di bawah nozzle laser pada bidang kerja.
- Atur jarak bidang kerja dan nozzle berjarak 7 mm menggunakan leveling stick.



- Atur jarak bahan dan nozzle menggunakan tombol Up & Down Platform.



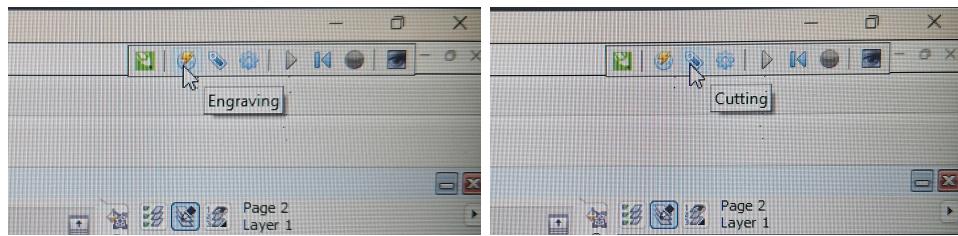
Catatan:

- Saat menaik/turunkan platform, JANGAN meletakkan *leveling stick* di bawah nozzle.
- Pindahkan dulu *leveling stick*, lalu sesuaikan platform dan leveling kembali.
- Ulangi hingga nozzle & benda kerja berjarak 7 mm.

3. Menyiapkan desain dan memproduksi objek

Zaiku CNC LS-6040 100W CO₂ membutuhkan aplikasi pendukung berupa Corel Laser. Aplikasi tersebut diperlukan untuk preparasi dan pengaturan desain sebelum diproses menggunakan CNC Laser. Berikut Langkah-langkah yang harus dilakukan.

- Buat desain objek menggunakan Corel Laser atau aplikasi lainnya.
- Atur perlakuan objek
 - Engraving: mengukir objek sesuai desain
 - Cut: untuk memotong objek sesuai desain

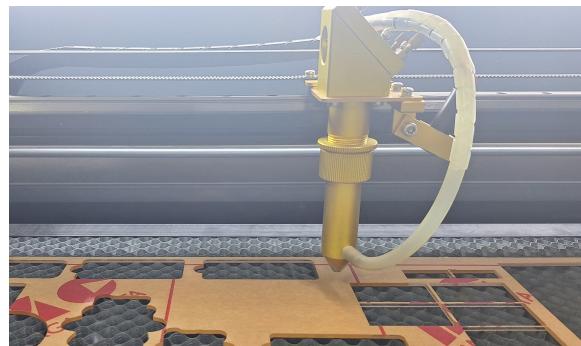


Untuk Engraving:

- Klik button Engraving
- Pilih desain yang akan di ukir.
(Saat mengatur engraving, putihkan desain yang nantinya menjadi pola pemotongan).
- Klik Add task.

Untuk Cutting:

- Klik button Cutting.
- Hilangkan desain untuk engraving.
- Pilih pola yang akan di potong.
- Klik Add task.
- Letakkan bahan dibawah nozzle seperti gambar berikut.



- Sebelum memulai proses engraving dan cutting, pastikan sudah melakukan leveling pada nozzle laser.
- Atur power laser sekitar 20 -25 dan Speed sekitar 10 – 15.
(Perlu melakukan optimasi untuk mengetahui power dan speed yang sesuai).



- Klik Starting untuk memulai penggerjaan objek.

Catatan:

- JANGAN menyentuh seluruh rangkaian laser.



- JANGAN mengubah baut nozzle, karena merubah center pointnya.

C. 3D Scanner

3D Scan adalah teknologi non-kontak dan non-destruktif yang secara digital menangkap bentuk objek fisik menggunakan garis sinar laser. Seperti pada umumnya scanning pada printer, bedanya file yang dihasilkan dalam bentuk 3 dimensi. 3D Scanner dapat mengukur detail dengan halus dan menangkap bentuk dengan cepat untuk menghasilkan point cloud yang sangat akurat. Alat ini cocok untuk pengukuran dan inspeksi permukaan berkontur dan geometri rumit yang membutuhkan data dalam jumlah besar untuk kebutuhan akurasinya.

Einscan adalah salah produsen yang telah mengasilkan berbagai 3D scanner yang sangat canggih. Einscan memiliki berbagai macam tipe 3D scanner sesuai kebutuhan konsumen, seperti Desktop 3D Scanner, Handheld 3D Scanner, Hybrid Light Source 3D Scanner, dan Multifunctional Handheld 3D Scanner.



Gambar 6. Desktop 3D Scanner Einscan SP

Einscan SP merupakan desktop 3D Scanner yang sangat cocok untuk tujuan Pendidikan. Scanner ini memiliki akurasi yang sangat tinggi hingga 0,05 mm. Alat ini juga telah dilengkapi beberapa mode pemindaian yang dapat menyesuaikan jenis objek yang digunakan. Ketika terpasang pada turntable scanner dapat menangkap objek dengan ketinggian maksimum 20 cm. Akan tetapi alat ini juga dilengkapi tripod sehingga dapat menangkap objek yang lebih besar hingga ketinggian 70 cm.

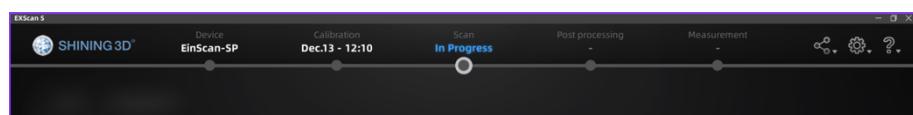
1. Menyalakan dan mematikan alat

Untuk menyalakan alat:

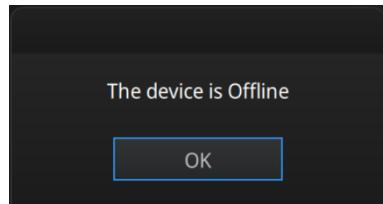
- Hubungkan kabel power ke sumber listrik.
- Tekan tombol power pada bagian belakang kamera selama beberapa detik.



- Buka aplikasi EXScan dan tunggu hingga kamera mengeluarkan cahaya. Scanner berhasil terhubung ke PC jika nama scanner muncul pada bagian Discovery.



Jika scanner tidak berhasil terhubung dengan PC akan muncul notifikasi berikut.



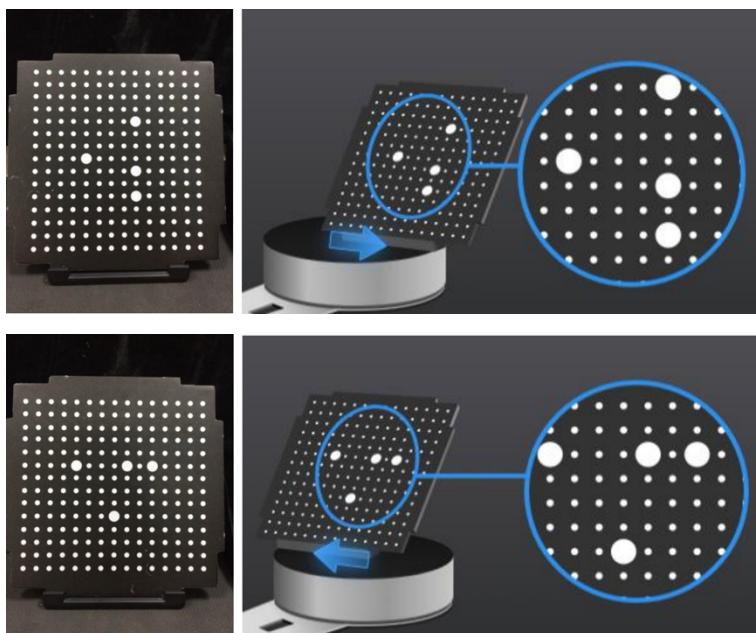
Untuk mematikan alat:

- Tutup aplikasi EXScan.
- Tekan tombol power pada bagian belakang kamera selama beberapa detik.
- Lepaskan kabel power dari sumber listrik.

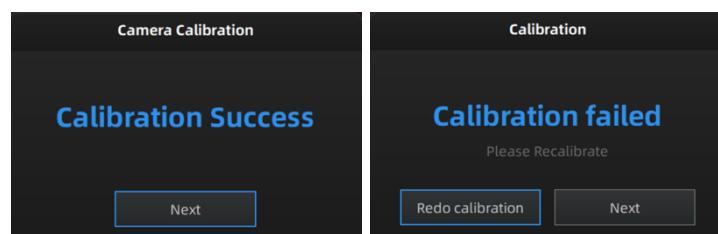
2. Kalibrasi alat

Sebelum digunakan 3D scanner perlu dikalibrasi untuk menjaga akurasi alat.

- Buka aplikasi EXScan
- Klik pada menu Calibration à pilih Calibration.
- Letakkan plat kalibrasi pada turntable dengan pola seperti yang tertera pada aplikasi.



- Ulangi Langkah di atas dengan pola yang berbeda hingga proses kalibrasi selesai.
- Pada akhir proses kalibrasi akan muncul notifikasi yang menyatakan proses kalibrasi berhasil atau gagal.



- Jika kalibrasi gagal, ulangi proses kalibrasi hingga berhasil.

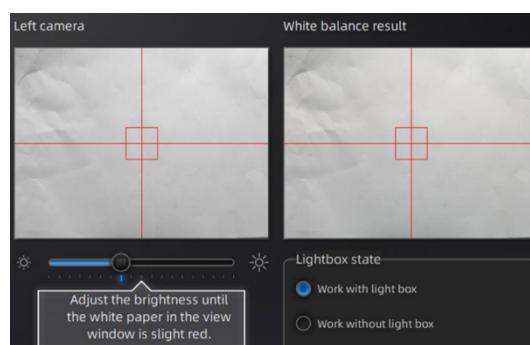
3. White Balance

Pengaturan white balance perlu dilakukan jika pencahayaan berubah atau scanner dipindahkan ke lingkungan yang berbeda.

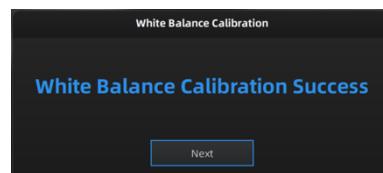
- Buka aplikasi EXScan
- Klik pada menu Calibration à pilih White Balance.



- Letakkan plat kalibrasi yang berwarna putih pada turntable.
- Atur pencahayaan pada aplikasi hingga pada layar putih muncul sedikit warna merah lalu klik White Balance Test.



- Akan muncul notifikasi jika white balance berhasil.



- Klik Next untuk memulai scan.

4. Menyiapkan objek

Terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan sebelum melakukan proses scan.

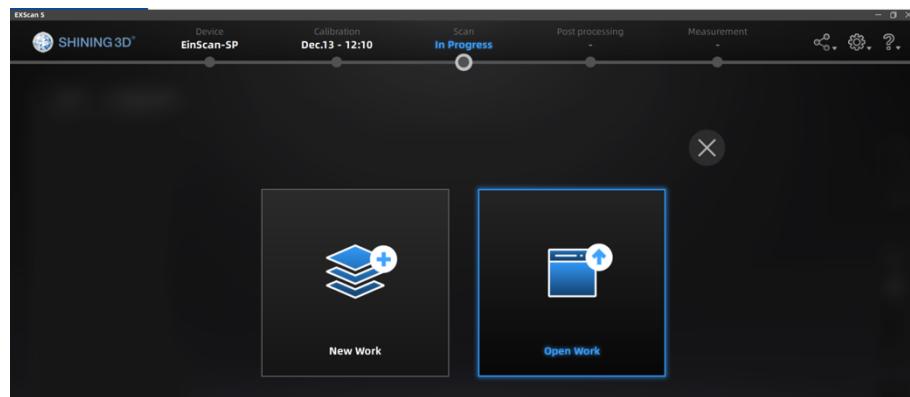
- Scanner tidak dapat memindai objek yang mengkilap maupun berwarna hitam sehingga perlu dilapisi dengan powder sebelum discan.
- Objek yang simetris perlu dipasang marker sebagai pembeda sehingga mudah diidentifikasi oleh scanner.



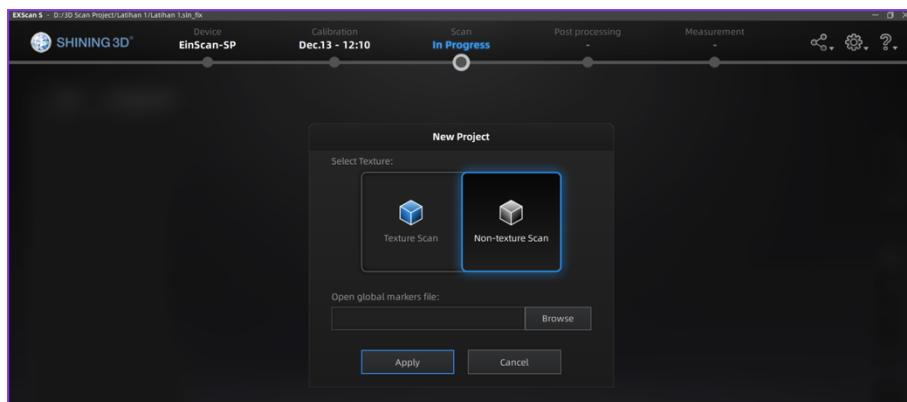
5. Proses scan

Scan objek

- Buka aplikasi EXScan.
- Pilih New Work dan buat folder untuk menyimpan hasil scan.

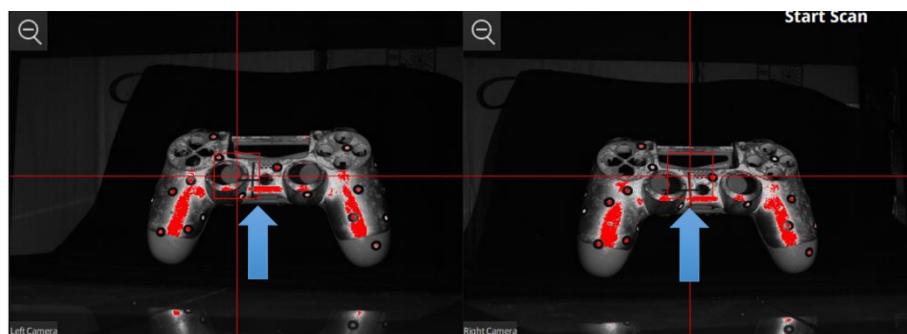


- Pilih Texture Scan jika ingin memindai bentuk dan warna, pilih Non-texture Scan jika hanya memindai bentuknya saja.

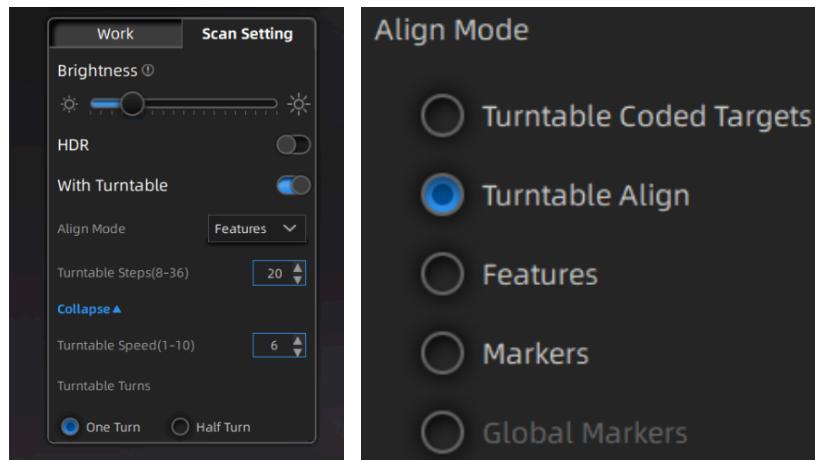


- Letakkan objek pada turntable

Objek akan terpindai dengan optimal jika berada pada tengah-tengah kamera baik kamera kiri maupun kanan.



- Atur Brightness hingga terlihat rana merah pada sebagian objek.
Jika warna objek sangat kontras dapat mengaktifkan HDR.
- Aktifkan With Turntable jika akan menghendaki turntable berputar otomatis saat memindaian.
- Pilih Align Mode yang ingin digunakan.
- Tentukan Turntable Steps dan Turntable Speed.
- Atur Turntable Turn, One Turn (satu putaran), Half Turn (setengah putaran)



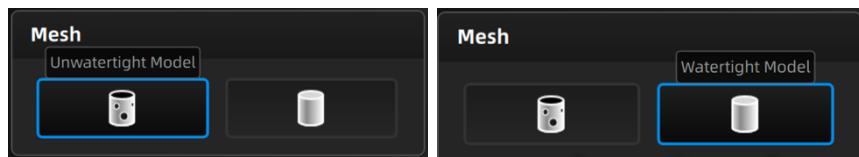
Jika pengaturan sudah selesai, klik untuk memulai pemindaian.

- Jika bayangan objek ikut terpindai, Klik Shift+Klik kanan untuk menyeleksi objek, lalu klik untuk menghapus objek yang tidak diinginkan.
- Jika ada bagaian yang tidak terscan, ubah posisi objek sehingga bagian tersebut terlihat pada kamera, lalu scan ulang.
- Klik untuk menggabungkan beberapa hasil scan menjadi satu kesatuan objek.
- Klik Global Optimization untuk mengakhiri proses scan.

Editing objek

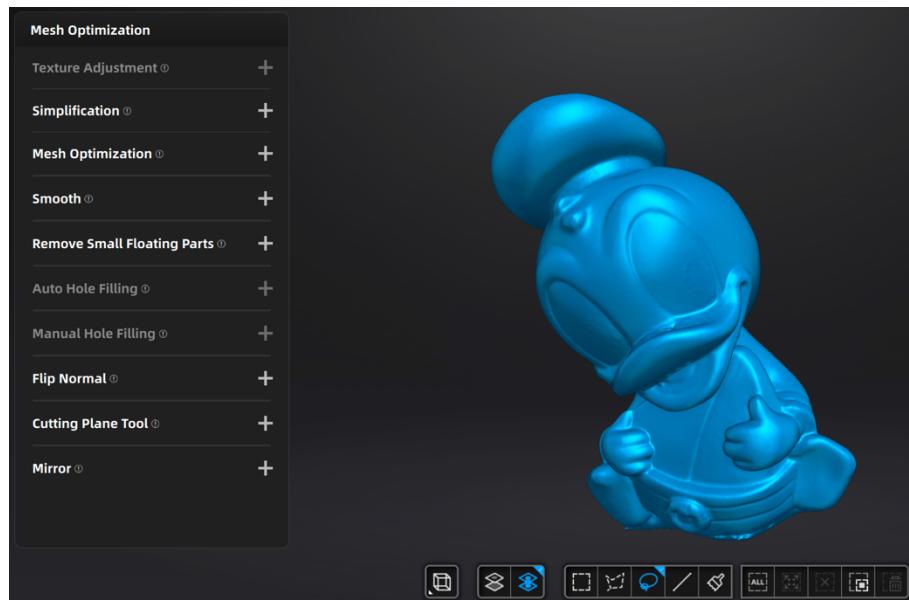
Setelah proses scan selesai biasanya masih memerlukan sedikit editing untuk mengoptimalkan bentuk objek. Langkah-langkah yang dapat dilakukan sebagai berikut.

- Klik tombol Mesh Model untuk memulai proses editing.
- Pilih Watertight untuk membuat objek menjadi pejal, atau Unwatertight jika akan membuat objek berongga.

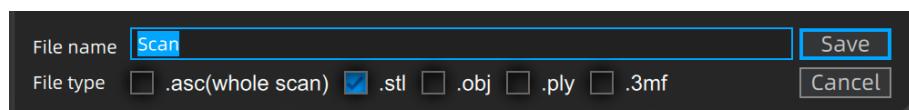


Mode Watertight akan membuat seluruh lubang pada objek tertutup secara otomatis, semestara Unwatertight akan mempertahankan lubang-lubang pada objek.

- Atur ketajaman, kehalusan objek, dan pengaturan lain sesuai kebutuhan.



- Klik Save untuk menyimpan hasil editing.
- Pilih .stl pada File type, lalu klik Save.



BAB 3

PEMODELAN 3 DIMENSI

Model 3 dimensi (3D) dapat diperoleh dengan beberapa cara, mengunduh di website penyedia asset 3D, membuat dengan software 3D, dan memindai langsung menggunakan 3D scanner. Website asset 3D seperti Thingiverse.com dan Sketchup.com menyediakan berbagai model 3D yang dapat langsung digunakan. Akan tetapi, tidak semua model dapat diunduh secara gratis. Model-model yang tersedia juga tidak selalu sesuai dengan yang kita butuhkan. Maka, membuat model 3D menggunakan aplikasi pembuat model 3D adalah cara yang terbaik. Terdapat beberapa aplikasi yang dapat digunakan untuk membuat model 3D secara gratis salah satunya adalah Tinkercad.

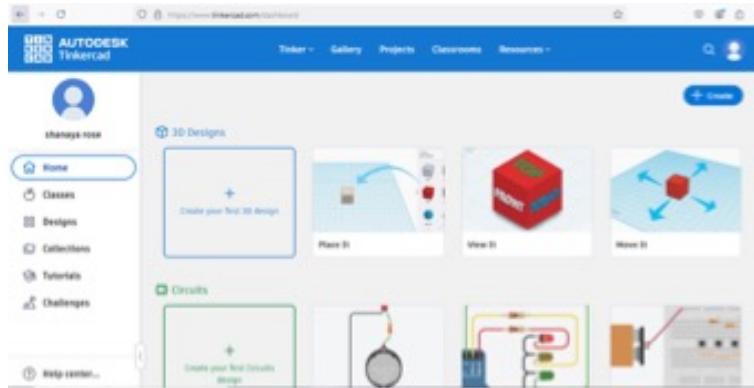
Membuat Model 3D dengan Tinkercad

Tinkercad adalah alat pemodelan 3D yang sangat sederhana dan intuitif yang tersedia secara daring. Alat ini berjalan di peramban web Anda dengan kombinasi yang menjadikannya perangkat lunak pilihan bagi para pemula. Untuk memulai aplikasi, pengguna perlu membuka: <https://www.tinkercad.com/> dan membuat akun dengan mengeklik tombol biru ‘Start Tinkering’.



Gambar 7. Halaman awal Autodesk Tinkercad

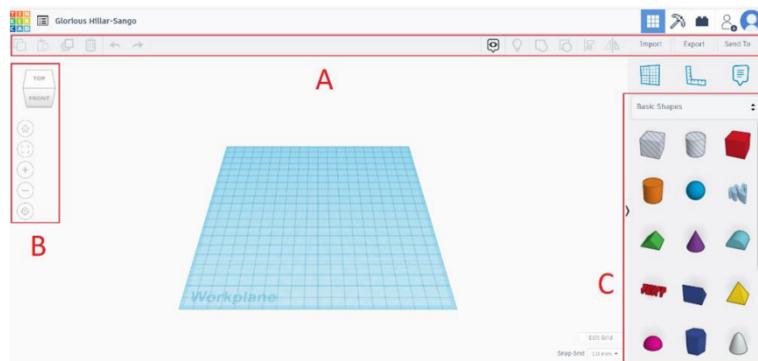
Email dan kata sandi untuk membuat akun akan dikirimkan. Setelah beberapa langkah pendaftaran, pengguna akan masuk ke panel utama TinkerCAD. Pengguna dapat melanjutkan dengan mengikuti tutorial online atau langsung mulai mendesain. Lewati langkah ini untuk saat ini dengan menutupnya dan sebagai gantinya, buka halaman beranda dan klik “Create New Design”.



Untuk mempelajari dasar-dasar TinkerCAD, kita akan membuat model kunci sederhana.



1. Menyiapkan Proyek



Pada gambar di atas, pengguna dapat melihat seperti apa tampilan antarmuka utama proyek. Seperti yang diharapkan, bagian tengahnya adalah "Workplane", tempat model dibuat dan dimanipulasi. Antarmuka ini juga terdiri dari yang berikut:

- A. Bilah alat atas, dengan alat yang lebih umum seperti "Copy", "Paste", dan "Delete" di sebelah kiri dan operasi desain seperti "Group" dan "Align" di sebelah kanan.
- B. Alat navigasi untuk orientasi dasar seperti memperbesar dan memperkecil. Perhatikan bahwa alat khusus ini juga dapat digunakan melalui roda tetikus.
- C. Panel Bentuk, berisi semua blok penyusun untuk mendesain, termasuk bentuk dasar seperti kubus, bola, dan teks. (Ini bisa menjadi kotak yang menyenangkan untuk dijelajahi, karena memiliki banyak opsi yang menarik dan terkadang dapat disesuaikan!)

Anda dapat memperbesar dan memperkecil tampilan dengan roda tetikus, dan bergerak dengan menekan roda tersebut. Dengan mengklik kanan dan bergerak, Anda akan memutar bidang kerja sebagai 3D.

2. Membagi Objek

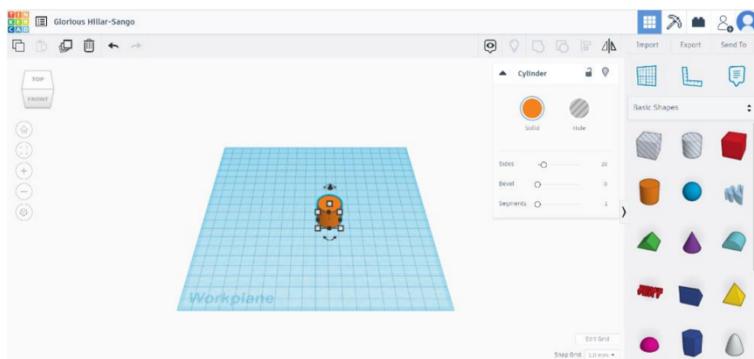
Membagi menjadi beberapa bagian merupakan prinsip utama dalam pemodelan 3D. Pada dasarnya, prinsip ini memberi tahu kita untuk memecah suatu bagian menjadi bentuk yang lebih kecil dan mengerjakannya satu per satu. Bagian-bagian ini kemudian akan disusun bersama untuk membuat objek akhir. Teknik ini sangat berguna saat memodelkan objek dunia nyata yang kompleks. Untuk model kunci pas kita, mari kita bagi menjadi tiga unit dasar: cincin, handle, dan jaw.



Bagian-bagian ini akan dirancang dalam tiga tahapan, dan setelah itu, bagian-bagian tersebut akan digabungkan. Kita juga akan menambahkan beberapa teks ke model kunci tersebut sehingga ukurannya dapat diidentifikasi dengan cepat.

3. Mendesain Bagian Cincin

Cincin kunci inggris dapat didekati dengan cakram padat dengan area melingkar berongga di tengahnya, seperti ring yang sangat tebal. Untuk membuat bentuk ini, pertama-tama seret silinder dari panel "Basic Shape" ke bidang kerja. Mengklik bentuk tersebut akan menampilkan opsinya di bawah "Shape". Saat dipilih, Anda akan melihat silinder tersebut memiliki lima kotak putih, atau "handle", empat di antaranya berada di bidang bawah bentuk dan satu di antaranya berada di atas silinder.



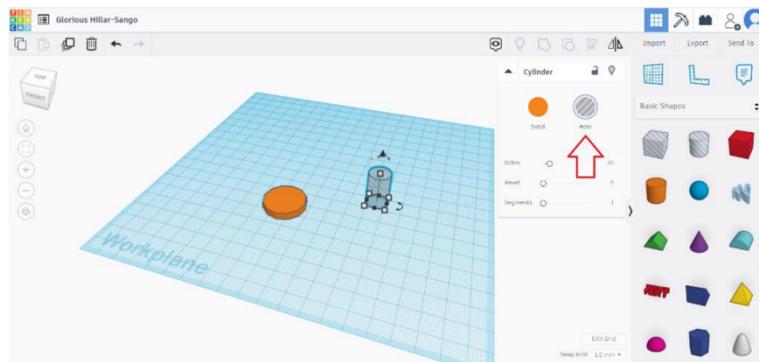
- Mengatur dimensi

Keempat pegangan di bidang bawah dapat digunakan untuk menyesuaikan panjang dan lebar silinder. Kita ingin cincin kita memiliki diameter 25 mm. Setelah Anda mengeklik pegangan persegi putih, kotak kecil dengan dimensi saat ini akan ditampilkan. Seret pegangan persegi hingga silinder memiliki panjang dan lebar 25 mm atau masukkan nilai dengan mengeklik kotak dimensi dan menekan Enter. (Secara default, TinkerCAD akan mengubah setiap tarikan ke nilai apa pun yang muncul di kanan bawah, misalnya "1 mm".) Pegangan di atas silinder menyesuaikan tingginya. Kita ingin kunci inggris kita memiliki tinggi 4 mm, jadi sesuaikan dengan cara yang sama seperti yang Anda lakukan dengan panjang dan lebar.

- Operasi Boolean dan Lubang

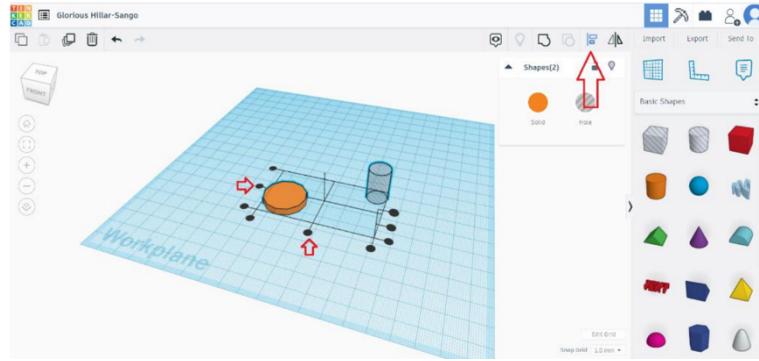
TinkerCAD beroperasi berdasarkan prinsip desain Boolean, yang memungkinkan pengurangan objek untuk membuat area kosong dan penambahan objek untuk membentuk bentuk baru. (Perhatikan bahwa

istilah-istilah ini tidak digunakan secara eksplisit.) Untuk langkah ini, kita akan menggunakan operasi pengurangan untuk membuat lubang melingkar di cincin kita. Pertama, seret silinder lain ke tempat kerja dan sesuaikan panjang dan lebarnya menjadi 12 mm (Gambar 6), yang merupakan diameter lubang yang kita inginkan. Dengan silinder baru ini dipilih, klik "Lubang" di jendela kanan atas. Ini memberi tahu TinkerCAD untuk memperlakukan bentuk ini sebagai sesuatu yang harus dikurangi.



- Aligning

Selanjutnya, kita perlu memposisikan lubang berbentuk silinder di tengah cakram padat. Untuk ini, kita akan menggunakan alat penyelarasan di bilah alat atas. Pertama, kita perlu memilih objek yang perlu untuk disejajarkan. Klik kiri cakram padat dan, dengan menekan Shift, klik kiri lubang silinder. Jika Anda melakukannya dengan benar, kedua objek akan dipilih dan disorot secara bersamaan. Tekan tombol "Align" di bilah alat atas. Anda akan melihat bahwa gagang bulat hitam akan muncul di bidang kerja. Klik gagang tengah bawah untuk menyelaraskan objek di sepanjang sumbu tengahnya di kedua arah X dan Y.

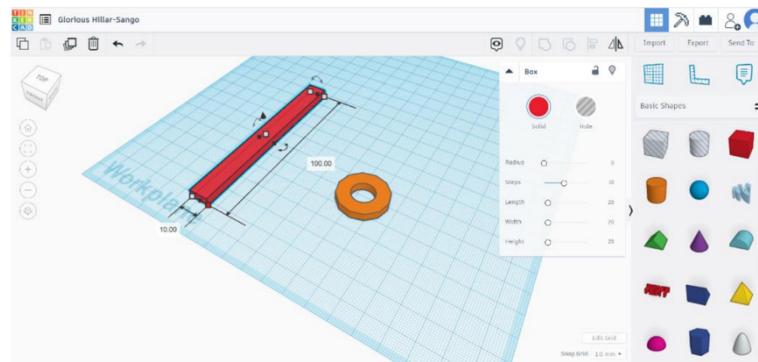


- Penggabungan

Setelah kedua bentuk tersebut sejajar, tekan tombol "Group" sehingga tergabung menjadi satu kesatuan bentuk. Prinsip ini pada dasarnya menggabungkan dua bentuk, tetapi jika salah satunya adalah lubang, alat ini akan menghapus sebagian objek.

4. Mendesain Bagian Pegangan

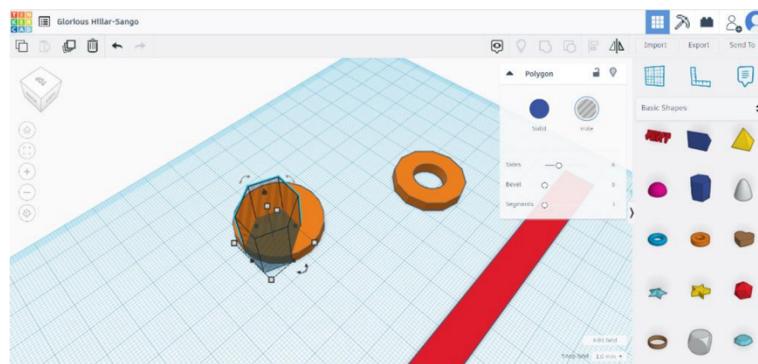
Bagian pegangan merupakan bagian termudah untuk dibuat. Pada dasarnya, kita hanya memerlukan persegi Panjang dengan dimensi yang tepat. Mulailah dengan menyeret dan menjatuhkan kotak dari panel bentuk dasar ke bidang kerja. Atur panjang kotak menjadi 100 mm dan lebarnya menjadi 10 mm menggunakan salah satu dari dua prosedur yang dijelaskan sebelumnya. Kemudian, atur tingginya menjadi 4 mm sehingga sesuai dengan cincinnya.



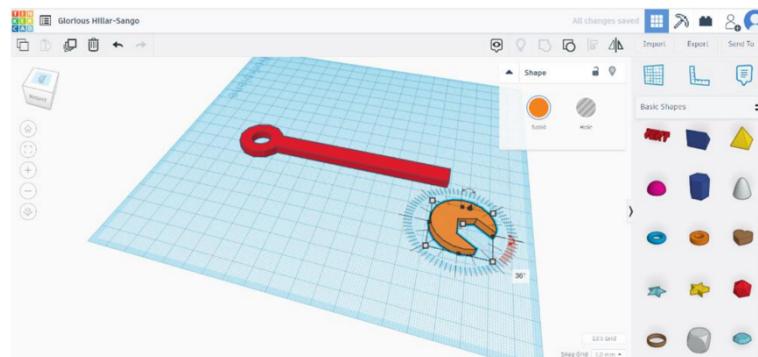
5. Mendesain Bagian Rahang

Bagian rahang berupa cakram melingkar dengan lubang heksagonal yang diukir miring. Kita dapat mengatur diameter cakram menjadi 30 mm dan tingginya menjadi 4 mm. Untuk membuat bentuk seperti rahang, kita

akan gunakan bentuk dasar "Poligon". Dengan menyeret poligon ke tempat kerja, Anda akan melihat bahwa bentuk tersebut secara default adalah bentuk segi enam. Inilah yang kita butuhkan, tetapi ketahuilah bahwa kita dapat mengubah jumlah sisi poligon dengan menyesuaikan opsi yang sesuai di jendela Bentuk. Untuk memposisikan segi enam, Anda dapat menggunakan alat penyelarasan sekali lagi untuk memposisikan segi enam di sepanjang salah satu sumbu pusat cakram. (Dengan kata lain, pusatkan dalam satu arah, tetapi bukan dua arah.) Pilih kedua bentuk, tekan tombol "Align", dan klik pada gagang bulat hitam seperti sebelumnya. Setelah kedua bentuk diposisikan dengan benar, kita dapat mengatur dimensi segi enam. Kita akan membuat kunci pas 15 mm, tetapi Anda bebas bermain-main dengannya dan memilih ukuran apa pun yang Anda inginkan. (Perhatikan bahwa sisa kunci pas mungkin tidak berdimensi dengan tepat untuk nilai yang terlalu jauh dari 15 mm dan nilai 22-23 mm adalah logis). Pilih lubang segi enam dan cakram dan tekan tombol "Grup" di menu.

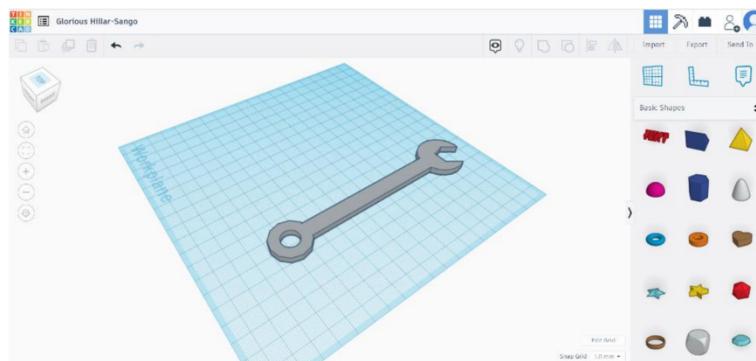


6. Menggabungkan Objek



Untuk menggabungkan objek, kita perlu menyejajarkan kedua bentuk seperti yang kita lakukan pada langkah terakhir – yaitu, hanya pada arah "panjang". Kemudian, tahan Shift dan gerakkan cincin dalam garis lurus ke arah gagang. Pastikan untuk sedikit tumpang tindih kedua bentuk (menggunakan gambar di bawah sebagai referensi), dan setelah selesai, lanjutkan dan kelompokkan. Ini akan menggabungkan gagang dan cincin menjadi satu unit yang berkesinambungan. Perhatikan bahwa sekarang memiliki satu warna, bukan dua. Jika rahang menghadap ke arah yang salah, kita perlu memperbaikinya dengan memutarinya. Pertama, pilih rahang dengan mengklik kiri di atasnya. Selain gagang putih, perhatikan tiga gagang melengkung dengan panah ganda. Mengarahkan kursor pada gagang di bidang bawah (XY) akan menyebabkan nilai sudut muncul. Untuk memutar rahang, klik dan seret gagang di sekitar bentuk atau masukkan nilai secara manual.

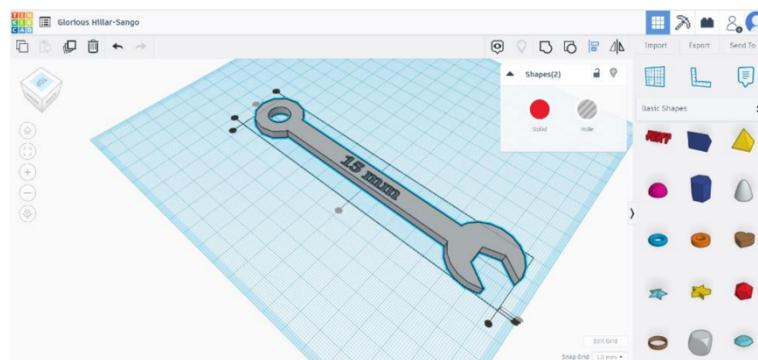
Untuk menggabungkan semuanya, sejajarkan kedua bentuk terlebih dahulu, lalu seret rahang sambil menahan Shift ke arah kunci inggris. Sekali lagi, posisikan agar saling tumpang tindih sedikit. Terakhir, kelompokkan. Untuk mengubah warna, pilih kunci inggris yang sudah difinalisasi dan klik tombol "Solid" pada jendela Bentuk. Berbagai pilihan warna akan ditampilkan. Klik warna yang Anda inginkan.



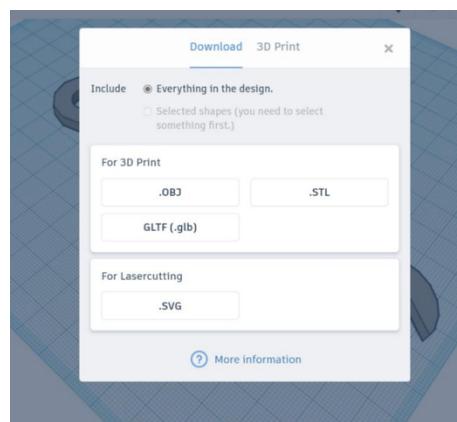
7. Menambahkan Teks

Untuk menambahkan teks, tekan menu "Teks" di panel bentuk dasar dan seret ke bidang kerja. Teks berfungsi seperti bentuk lainnya, tetapi Anda

dapat mengubah isinya. Karena kita ingin "mengukir" teks dari pegangan, buatlah lubang. Di jendela Bentuk, klik bidang "Teks" dan ganti dengan "15 mm", yang merupakan ukuran kunci inggris kita. Bentuknya akan berubah secara otomatis. Sekarang, tinggal mengubah ukuran teks dan menggabungkannya dengan kunci inggris. Sesuaikan panjang dan lebarnya menjadi 32 dan 7 mm. Untuk memposisikan teks di atas pegangan, gunakan sekali lagi alat penyelarasan. Pilih kedua bentuk dan tekan "Sejajarkan". Karena kita ingin teks "menusuk" ke bagian atas kunci inggris, kita akan memilih pegangan bundar atas di sepanjang dimensi vertikal. Ini akan membuat permukaan atas kedua bentuk rata. Selesaikan penempatan teks dengan mengklik pegangan bundar tengah di bidang XY. Yang tersisa sekarang adalah mengukir teks dengan menggabungkan bentuknya.



8. Mencetak Objek



Agar objek dapat dicetak menggunakan 3D printer file harus disimpan dalam format STL atau OBJ. Pertama-tama klik "Ekspor" dan pilih format file STL atau OBJ.

BAB 4

MEDIA PEMBELAJARAN BERBASIS *CREATIVE THINKING*

Apa itu *Creative Thinking*?

Creative Thinking merupakan kemampuan berpikir secara luas, mampu melihat dan memecahkan masalah dari berbagai sudut pandang serta mampu menciptakan sebuah solusi dengan ide-ide baru yang inovatif. *Creative thinking* adalah perpaduan antara *Creative Problem Solving* dan *Design Thinking*. Cara berpikir ini bertujuan untuk menyelesaikan masalah dan menemukan kesempatan baru.



Jenis-jenis *Creative Thinking*

- Divergent Thinking

Cara berpikir kreatif jenis divergent thinking membuat seseorang bebas memikirkan sebanyak mungkin ide berdasarkan imajinasi. Dalam proses berpikir, seseorang akan sering menggunakan fleksibilitas dan ide yang benar-benar berasal dari pemikiran. Hal ini kemudian dilakukan eksplorasi sebanyak mungkin mencari solusi untuk mengatasi masalah yang ada.

- Lateral Thinking

Merupakan jenis pemikiran yang membuat seseorang cenderung mencari ide lain ketimbang tergantung dengan satu ide yang sudah ada. Hal ini tidak ditujukan untuk membatasi pola pikir, namun membiarkan kondisi mengalir dan ide yang muncul memiliki hubungan dengan ide awal dan bisa memecahkan permasalahan.

- **Inspirational Thinking**

Jenis pemikiran ini sangat berkaitan dengan inspirasi seseorang tersebut, bisa berasal dari mana saja termasuk imajinasi hingga sesuatu yang dilihat. Kemudian menimbulkan inovasi yang menjadi solusi menyelesaikan masalah yang dihadapi, kemudian dikembangkan dan menjadi ide yang benar-benar bisa dijadikan untuk menyelesaikan masalah.

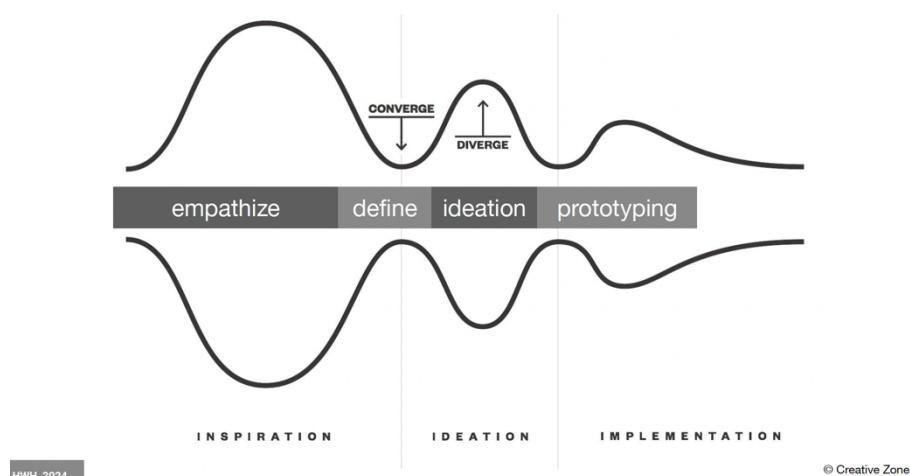
- **System Thinking**

Contoh creative thinking selanjutnya adalah system thinking yang pada umumnya jenis pemikiran ini melihat berkaitan antara satu ide dengan ide lainnya, pemikiran yang membuat seseorang dapat menyadari hal-hal yang ada di hadapannya. Saling terkait kemudian membentuk hal lebih besar, sehingga dapat menjadi solusi yang lebih efektif.

- **Aesthetic Thinking**

Jenis pemikiran ini berfokus pada hal yang sifatnya berupa keindahan dan nilai yang melekat padanya, aesthetic thinking membuat seseorang dapat menghasilkan atau menemukan hal-hal menyenangkan dan indah bagi mereka.

Tahapan *Creative Thinking*



Gambar 8. Tahapan *Creative Thinking*

Terdapat tiga tahapan dalam creative thinking yaitu inspiration, ideation, dan implementastion. Tahapan-tahapan tersebut melibatkan proses berpikir divergen dan konvergen secara berkesinambungan.

1. Inspiration

Tahap ini terdiri atas proses *empathize* dan *define*. Empathize merupakan upaya untuk melakukan pemahaman mendalam terhadap karakteristik dan kebutuhan pengguna produknya. Pemahaman tersebut dibentuk melalui cara-cara empatis seperti bertanya dan mendengarkan, menggali pengalaman pengguna, serta menempatkan kebutuhan/aspirasi pengguna sebagai tujuan utama perancangan.

Setelah mendapatkan pemahaman mengenai masalah dan kebutuhan spesifik pengguna, proses selanjutnya adalah define (menentukan masalah utama/tujuan). Perumusan tujuan menggunakan prinsip empatis; di mana pengguna dan aspirasi/kebutuhannya dinyatakan secara spesifik dalam rumusan. Misalnya: “Bagaimana merancang media pembelajaran untuk menggambarkan unit sel pada kisi kristal senyawa ionik sehingga mudah dipahami oleh mahasiswa?”

2. Ideation

Setelah memahami pengguna dan kebutuhan mereka dalam tahap empathize, kita perlu melihat masalah dari berbagai perspektif dan mengideasikan solusi inovatif untuk masalah tersebut. Terdapat banyak cara yang dapat dilakukan diantaranya Brainstorming. Teknik Brainstorm biasanya digunakan pada awal tahap ideasi untuk merangsang pemikiran bebas dan memperluas ruang masalah. Cara ini efektif untuk menghasilkan ide sebanyak mungkin yang selanjutnya akan di pilih yang terbaik untuk memecahkan masalah.

3. Implementation

Tahap implementasi dimulai dengan prototyping untuk mewujudkan ide dalam bentuk model yang menunjukkan fitur-fitur dari solusi yang

ditawarkan. Proses ini dapat digunakan untuk menguji dan memvalidasi ide secara cepat serta murah sehingga perancang dapat melakukan perbaikan terhadap produknya sebelum benar-benar diproduksi. Prototipe yang baik perlu cukup mudah dibuat (tidak membutuhkan upaya besar dalam pembuatannya), namun cukup representatif untuk diujicobakan kepada pengguna. Setelah prototipe dirasa cukup baik, dapat dilanjutkan dengan produksi terbatas untuk pengujian terhadap pengguna.

Proses pengujian sangat penting karena di sinilah ide solusi perancang (yang sudah berwujud prototipe) diperiksa efektivitasnya. Uji coba memungkinkan perancang menemukan kekuatan dan kelemahan dari idenya, juga mendapatkan umpan balik dari pengguna rancangannya. Dalam uji coba prototipe, berlaku prinsip “tunjukkan, jangan jelaskan”: prototipe tersebut yang akan menjelaskan (atau tidak cukup menjelaskan) ide yang digagas perancang. Dalam uji coba, perancang cukup berdiri di tepi dan mengamati bagaimana pengguna berinteraksi dengan prototipe idenya. Dari pengamatan itulah perancang akan mendapatkan insight (pemahaman) yang berguna untuk pengembangan dan penyempurnaan rancangannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Coughlan, A. 2007. *Learning to Learn: Creative Thinking and Critical Thinking*. DCU Student Learning Resources.
- Fabfoundation. 2013. *What is a Fablab?* <https://www.fablabs.io/>
- Gershenfeld, N. 2008. *Fab: the coming revolution on your desktop from personal computers to personal fabrication*. Basic Books.
- Judkins, R. 2025. *The Art of Creative Thinking*. Hodder & Stoughton.
- SAM. *3D Printing Kit for Schools Guide: TinkerCAD User Manual* https://www.skills4am.eu/documents/tinkercad_usermanual
- Worldbank. 2014. *Communities of "Makers" Tackle Local Problems* <http://www.worldbank.org/en/news/feature/2014/08/06/communities-of-makers-tackle-localproblems>.
- Zhejiang Flashforge 3D Technology Co. *User Guide*. https://flashforge.com/?srsltid=AfmBOorJ0O-2GJcSsPdbgPfIGMGAgStM0w_bsGcDaRR-Lw9ZXefbWMLT
- Shining 3D. 2020. *EinScan SE/SP User Manual*. <https://www.shining3d.com/>