

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, perubahan zaman semakin cepat dengan perkembangan yang begitu pesat. Akibatnya, percepatan aktivitas manusia merupakan keniscayaan yang tidak bisa ditolak. Hal inilah yang memicu munculnya teknologi-teknologi terbaru. Filosofinya tentu untuk membantu menyelesaikan tugas-tugas manusia dengan biaya dan tenaga seminimal mungkin. Salah satu teknologinya adalah teknologi 3D Printing. Saat ini, teknologi pencetakan 3D memainkan peran penting dalam pengembangan produk, pembuatan prototipe, dan manufaktur.

Dalam industri manufaktur, desain suatu produk menjadi bagian yang sangat penting mengingat begitu ketatnya persaingan dan cepatnya inovasi-inovasi yang dikeluarkan oleh produsen untuk mendapatkan pasar penjualan. Beberapa perusahaan manufaktur melakukan pengembangan produk, yaitu proses dimana konsep produk harus diterjemahkan dari gambar teknik menjadi produk fisik. Pembuatan produk fisik model pertama atau *prototype* dinamakan *prototyping*. *Prototyping* sangat penting karena merupakan makna terakhir dalam verifikasi bentuk, kesesuaian, dan fungsi produk.

Sebuah produk yang akan diproduksi secara massal memerlukan sebuah *prototype* awal sehingga bisa menilai apakah suatu produk desain telah memenuhi kriteria yang diinginkan dan siap untuk diproduksi secara massal. *Prototyping* akan sangat membantu menentukan proses produksi selanjutnya dan nilai investasi yang harus dikeluarkan. Untuk keperluan pembuatan *prototyping* awal tersebut, salah satu alternatifnya adalah menggunakan 3D printing.

Salah satu keuntungan penggunaan 3D printing untuk membuat *prototyping* adalah dapat membuat *prototype* dalam waktu yang singkat dan biaya yang relatif murah dibandingkan pembuatan *prototype* secara konvensional. Printer 3D ini menjadi alat vital dalam dunia industri. Namun untuk industri di Indonesia belum banyak menggunakan alat ini dikarenakan harga mesin tersebut relatif mahal untuk industri-industri berkembang di Indonesia dan kurangnya pengetahuan tentang penggunaan 3D printer ini dikalangan masyarakat Indonesia. Oleh sebab itu pengetahuan dan keterampilan dalam menggunakan mesin printer 3D perlu lebih ditingkatkan lagi, begitu pula dengan karakteristik permesinan dengan mesin printer 3D perlu lebih dipahami.

Salah satu karakteristik itu adalah kecepatan dan temperatur 3D printing perlu didalami khususnya terkait kualitas hasil printing akibat pengaruh karakteristik tersebut.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian adalah :

1. Untuk mengetahui cara kerja mesin 3D printing dan hasil printernya.
2. Untuk mengetahui pengaruh parameter *printing* dengan hasil *printing*
3. Untuk mengetahui nilai kekerasan permukaan pada Kotak

1.3 Batasan Masalah

Karena luasnya permasalahan, penulis merasa perlu untuk membatasi masalah yang akan dibahas di dalam laporan ini, mengingat keterbatasan waktu, tempat, kemampuan dan pengalaman. Adapun hal-hal yang akan dibahas dalam desain dan manufaktur *prototype* ini adalah sebagai berikut :

1. Desain Kotak dengan menggunakan software AUTOCAD
2. Proses manufaktur menggunakan 3D printer type FDM (Fused Deposition Modelling)
3. Bahan baku Filamen PLA
4. Pengamatan hasil 3D Printing

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari desain dan manufaktur *prototype* Kotak Relay ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi Mahasiswa
 - a. Sebagai suatu penerapan teori dan praktek yang telah diperoleh pada saat dibangku perkuliahan.
 - b. Melatih mahasiswa dalam pendesainan produk atau komponen mesin dengan menggunakan computer.
 - c. Menambah skil mahasiswa dalam penggunaan software Autocad
 - d. Menambah pengetahuan mahasiswa dibidang teknologi 3D printer
2. Bagi Prodi Teknik Mesin UHN Medan
 - a. Sebagai bahan kajian di Prodi Teknik Mesin dalam mata kuliah bidang Teknik Mesin
3. Bagi Industri Manufaktur
 - a. Memperoleh solusi dalam pembuatan *prototype* awal tanpa membutuhkan biaya yang mahal

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan oleh penulis dalam penyusunan tugas akhir ini:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai tugas akhir yang meliputi, pembahasan tentang latar belakang, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Landasan teori yang berisi tentang definisi desain, prototype, rapid prototyping, dan 3D Printer

BAB III METEDOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang bahan yang digunakan, variabel penelitian, langkah-langkah penelitian secara metode analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan penyajian hasil data dan pembahasan yang diperoleh dari pengujian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan jawaban dari tujuan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Desain

Desain adalah proses menterjemahkan ide-ide baru atau kebutuhan pasar menjadi informasi detail suatu produk dapat dibuat. Setiap langkah-langkah desain membutuhkan keputusan untuk menggunakan material apa dalam membuat produk tersebut dan proses

pembuatannya. Umumnya pemilihan material itu ada didalam standard desain. Tetapi kadang-kadang suatu produk baru atau kelanjutan dari produk sebelumnya dapat dibuat atau disarankan untuk dibuat dengan material baru. Jumlah material yang tersedia untuk kebutuhan para *engineer* sangat banyak, antara 40.000-80.000 jenis. Walaupun adanya standarisasi telah mengurangi jumlah ini, namun munculnya material-material baru dengan sifat yang lebih baik bahkan menambah jumlah material.

2.2 Prototyping

Prototyping adalah contoh awal konsep sebagai bagian dari proses pengembangan produk. *Prototype* melayani berbagai tujuan baik dari sudut pandang bisnis maupun teknik. Bisnis menggunakan *prototype* untuk mengumpulkan umpan balik pelanggan yang terperinci tentang masalah-masalah seperti estetika, ergonomik, dan tema. Serta untuk riset pemasaran dan analisis biaya. *Prototyping* digunakan oleh para insinyur untuk menyediakan data manufaktur dan perakitan, untuk menyelidiki integrasi sistem masalah dan untuk mengembangkan analisis dan strategi pengujian. dalam beberapa kasus, *prototyping* juga digunakan di fase generasi konsep dari proses desain untuk membantu desainer untuk memperluas atau mengontrak himpunan konsep yang mungkin. Jelas *prototyping* adalah bagian penting dari sebagian besar proses desain.

2.3 Rapid Prototyping

Rapid Prototyping (RP) dapat didefinisikan sebagai metode-metode yang digunakan untuk membuat model berskala (*prototype*) dari mulai bagian suatu produk (*part*) ataupun rakitan produk (*assembly*) secara cepat dengan menggunakan data *Computer-Aided Design* (CAD) tiga dimensi. *Rapid Prototyping* memungkinkan visualisasi suatu gambar 3D (tiga dimensi) menjadi benda tiga dimensi asli yang mempunyai volume. Selain itu produk-produk *rapid prototyping* juga dapat digunakan untuk menguji *part* tertentu.

Paket perangkat lunak mengiris model CAD menjadi jumlah lapisan tipis =0,1 mm tebal yang mungkin dibangun satu diatas yang lain. Ini adalah “Proses Aditif” dari pada kebanyakan proses pemesinan “Proses Subtraktif”.

Ada 5 teknik (metode) *rapid prototyping*, yaitu:

a. *Stereo Lithography* (SLA)

Dipatenkan pada tahun 1986, SLA memulai revolusi *rapid prototyping*. SLA adalah proses pembuatan aditif dalam bentuknya yang paling umum. Dimana bekerja dengan memfokuskan laser ultraviolet (UV) pada tong resin *photopolymer*. Dengan bantuan *Computer-Aided Manufacturing* atau *Computer-Aided Design* (CAM / CAD). Laser UV digunakan untuk menggambar desain atau bentuk yang diprogram sebelumnya pada permukaan tong *photopolymer*. *Photopolymers* sensitif terhadap sinar ultraviolet, sehingga resin secara fotokimia dipadatkan dan membentuk satu lapisan objek 3D yang diinginkan. Kemudian, *platform build* menurunkan satu lapisan dan *blade* mengulangi bagian atas tangki dengan resin. Proses ini diulang untuk setiap lapisan desain sampai objek 3D selesai. Bagian yang sudah selesai harus dicuci dengan pelarut untuk membersihkan resin basah dari permukaannya.

Dimungkinkan juga untuk mencetak objek "*bottom up*" dengan menggunakan tong dengan dasar transparan dan memfokuskan UV atau laser polimerisasi biru ke atas melalui bagian bawah tong. Mesin stereolithografi terbalik memulai cetakan dengan menurunkan *platform build* untuk menyentuh bagian bawah tong yang diisi resin, kemudian bergerak ke atas ketinggian satu lapisan. Laser UV kemudian menulis lapisan paling bawah dari bagian yang diinginkan melalui bagian bawah tong transparan. Kemudian tong itu "diguncang", melenturkan dan mengupas bagian bawah tong jauh dari *photopolymer* yang mengeras; bahan keras melepaskan dari dasar tong dan tetap melekat pada *platform build* meningkat, dan *photopolymer* cair baru mengalir dari tepi bagian yang dibangun sebagian. Laser UV kemudian menulis lapisan kedua dari bawah dan mengulangi prosesnya. Keuntungan dari mode *bottom up* ini adalah bahwa volume *build* dapat jauh lebih besar daripada tong itu sendiri, dan hanya cukup *photopolymer* yang diperlukan untuk menjaga bagian bawah *build* terus-menerus penuh dengan *photopolymer*. Pendekatan ini tipikal untuk printer SLA desktop, sedangkan pendekatan sisi kanan lebih sering terjadi pada sistem industri.

SLA membutuhkan penggunaan struktur pendukung yang menempel pada platform elevator untuk mencegah defleksi akibat gravitasi, menahan tekanan lateral dari pisau yang diisi resin, atau mempertahankan bagian yang baru dibuat selama "*vat rocking*" dari pencetakan *bottom up*. Dukungan biasanya dibuat secara otomatis selama persiapan model CAD dan juga

dapat dilakukan secara manual. Dalam situasi apa pun, dukungan harus dihilangkan secara manual setelah pencetakan.

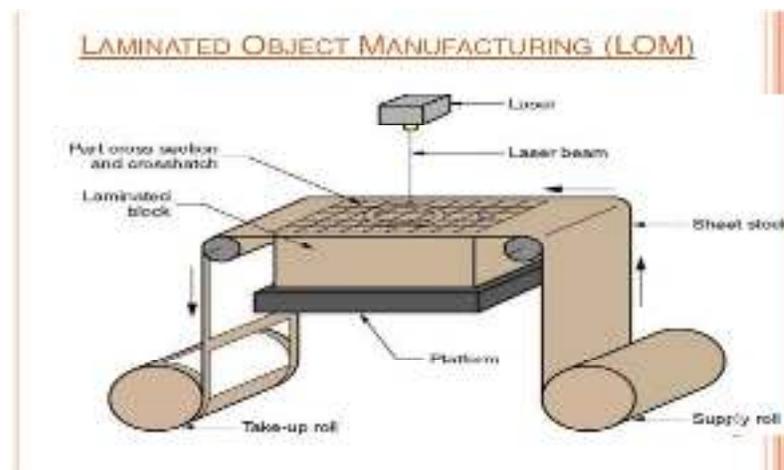
Bentuk stereolithografi lainnya membangun setiap lapisan dengan penutup LCD, atau menggunakan proyektor DLP.



Gambar 2.1 Stereo Lithography (SLA)

b. *Laminated Object Manufacture (LOM)*

Laminated object manufacturing (LOM) adalah sistem *rapid prototyping* yang dikembangkan oleh Helisys Inc (*Cubic Technologies* sekarang merupakan organisasi penerus Helisys). Di dalamnya, lapisan kertas berlapis perekat, plastik, atau laminasi logam secara berturut-turut direkatkan bersama dan dipotong menjadi bentuk dengan pisau atau pemotong laser. Objek yang dicetak dengan teknik ini dapat dimodifikasi dengan pemesian atau pengeboran setelah pencetakan. Resolusi lapisan tipikal untuk proses ini ditentukan oleh bahan baku material dan biasanya memiliki ketebalan mulai dari satu hingga beberapa lembar kertas fotokopi.



Gambar 2.2 Laminated Object Manufacturing (LOM)

c. *Selective Laser Sintering* (SLS)

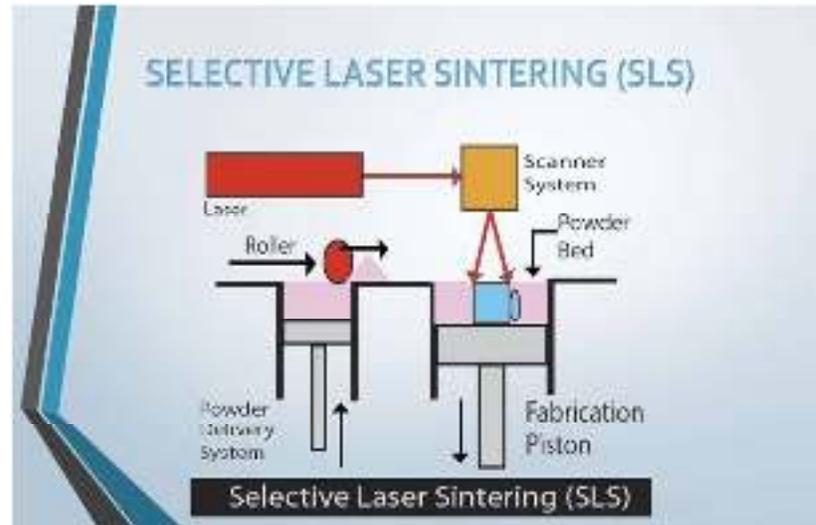
Selective laser sintering (SLS) adalah teknik pembuatan *aditif manufaktur* (AM) yang menggunakan laser sebagai sumber daya untuk menyinter bahan bubuk (biasanya nilon atau poliamida), mengarahkan laser secara otomatis pada titik-titik di ruang yang ditentukan oleh model 3D, mengikat bahan bersama-sama untuk

menciptakan struktur yang *solid*. Ini mirip dengan *Selective Laser Melting* (SLM); keduanya adalah contoh dari konsep yang sama tetapi berbeda dalam detail teknis. *Selective laser melting* (SLM) menggunakan konsep yang sebanding, tetapi dalam SLM bahan sepenuhnya meleleh daripada disinter, memungkinkan sifat yang berbeda (struktur kristal, porositas, dan sebagainya). SLS (serta teknik AM lainnya yang disebutkan) adalah teknologi yang relatif baru yang sejauh ini terutama digunakan untuk pembuatan prototipe cepat dan untuk produksi komponen komponen dalam volume rendah. Peran produksi berkembang seiring dengan komersialisasi teknologi AM yang meningkat.

Teknologi lapisan manufaktur tambahan, SLS melibatkan penggunaan laser daya tinggi (misalnya, laser karbon dioksida) untuk memadukan partikel kecil plastik, logam, keramik, atau serbuk kaca menjadi massa yang memiliki bentuk tiga dimensi yang diinginkan. Laser selektif memadukan bahan bubuk dengan memindai penampang yang dihasilkan dari deskripsi digital 3-D bagian (misalnya dari file CAD atau data pemindaian) pada permukaan bed. Setelah setiap penampang dipindai, alas bedak diturunkan dengan satu ketebalan lapisan, lapisan material baru diaplikasikan di atas, dan proses diulangi sampai bagian tersebut selesai.

Berbeda dengan beberapa proses pembuatan aditif lainnya, seperti *stereolithography* (SLA) *Fused Deposition Modelling* (FDM), yang paling sering membutuhkan struktur pendukung khusus untuk membuat desain yang menggantung, SLS tidak memerlukan pengumpan terpisah untuk bahan pendukung karena bagian yang sedang dibangun dikelilingi oleh bubuk yang tidak disintesis setiap saat, ini memungkinkan untuk konstruksi geometri yang sebelumnya tidak mungkin. Juga, karena ruang mesin selalu diisi dengan bahan serbuk, pembuatan beberapa bagian memiliki dampak yang jauh lebih rendah pada keseluruhan kesulitan dan harga desain karena melalui teknik yang dikenal sebagai “bagian bersarang” beberapa bagian

dapat diposisikan agar sesuai dengan batas-batas dari mesin. Satu aspek desain yang harus diperhatikan adalah bahwa dengan SLS adalah tidak mungkin untuk membuat elemen berongga tetapi tertutup sepenuhnya. Ini karena bubuk yang tidak disintesis di dalam elemen tidak dapat dikeringkan.



Gambar 2.3 *Selective Laser Sintering (SLS)*

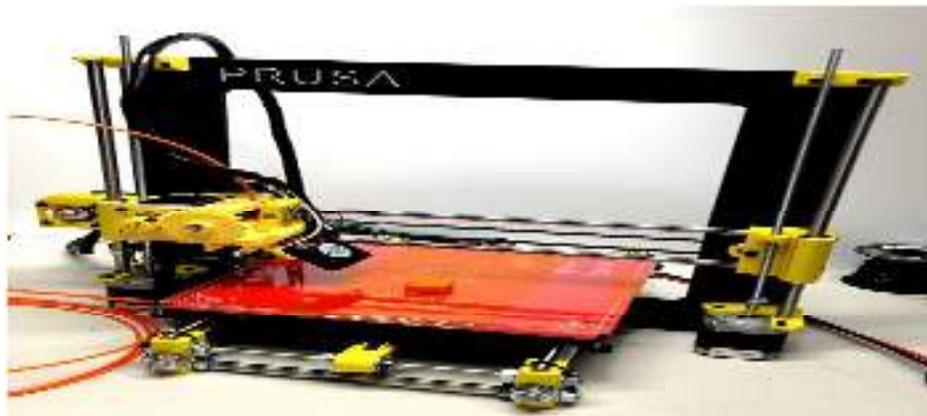
d. *Fused Deposition Modeling (FDM)*

Fused filament fabrikasi (FFF), juga dikenal dengan istilah *Fused Deposition Modeling (FDM)*, yang kadang-kadang juga disebut fabrikasi bentuk bebas filamen, adalah proses pencetakan 3D yang menggunakan filamen terus menerus dari bahan termoplastik. *Filament* diumpangkan dari koil besar melalui kepala, mesin pengestrusi printer yang dipanaskan, dan disimpan pada pekerjaan yang sedang berkembang. *Print head* dipindahkan di bawah kendali komputer untuk menentukan bentuk cetakan. Biasanya kepala bergerak dalam dua dimensi untuk menyimpan satu bidang horizontal, atau lapisan, pada satu waktu; pekerjaan atau print head kemudian dipindahkan secara vertikal dengan jumlah kecil untuk memulai layer baru. Kecepatan kepala *ekstruder* juga dapat dikontrol untuk berhenti dan memulai pengendapan dan membentuk bidang yang terputus tanpa merangkai atau menggiring bola antar bagian. "Pembuatan filamen menyatu" diciptakan oleh anggota proyek RepRap untuk memberikan frasa yang secara hukum tidak akan dibatasi dalam penggunaannya, diberikan merek dagang yang mencakup "pemodelan deposisi peleburan".

Pencetakan filamen yang menyatu sekarang merupakan proses yang paling populer (berdasarkan jumlah mesin) untuk pencetakan 3D tingkat hobi. Teknik-teknik lain seperti *photopolymerisation* dan *sintering* bubuk mungkin menawarkan hasil yang lebih baik, tetapi mereka jauh lebih mahal.

Kepala printer 3D atau *extruder printer 3D* adalah bagian dalam pembuatan bahan tambahan ekstrusi yang bertanggung jawab atas peleburan bahan baku dan membentuknya menjadi profil berkelanjutan. Berbagai macam bahan filamen diekstrusi, termasuk termoplastik seperti *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), *polylactic acid* (PLA), *high-impact polystyrene* (HIPS), termoplastik polyurethane (TPU) dan poliamida alifatik (nilon).

Pencetakan 3D, juga disebut sebagai *aditif manufaktur* (AM), melibatkan pembuatan bagian dengan menyimpan bahan lapis demi lapis. Ada beragam teknologi AM yang berbeda yang dapat melakukan ini, termasuk ekstrusi bahan, pengikat binder, pengaliran material, dan pengendapan energi terarah. Proses ini memiliki berbagai jenis pengestrusi dan mengusir bahan yang berbeda untuk mencapai produk akhir.



Gambar 2.4 Fused Deposition Modeling (FDM)

e. *Solid Ground Curing* (SGC)

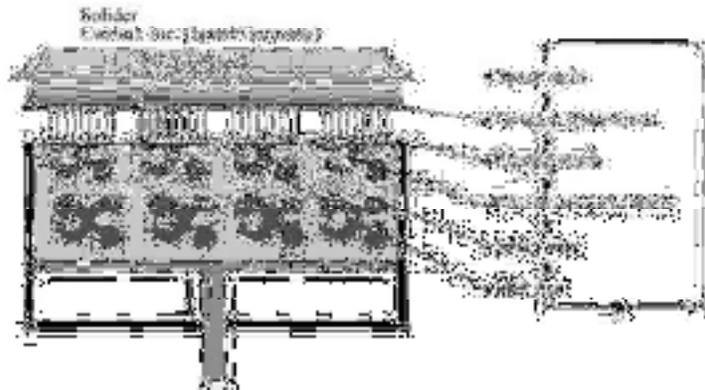
Solid ground curing (SGC) adalah teknologi aditif berbasis foto polimer (atau pencetakan 3D) yang digunakan untuk memproduksi model, *prototipe*, pola, dan bagian produksi, di mana produksi geometri lapisan dilakukan dengan cara dari lampu UV berdaya tinggi melalui topeng. Karena dasar dari *curing* tanah padat adalah paparan setiap lapisan model dengan menggunakan

lampu melalui masker, waktu pemrosesan untuk pembuatan lapisan tidak tergantung pada kompleksitas lapisan. SGC dikembangkan dan dikomersialkan oleh Cubital Ltd. Israel pada tahun 1986 dengan nama alternatif Sistem Solider. Walaupun metode ini menawarkan akurasi yang baik dan tingkat fabrikasi yang sangat tinggi, metode ini menderita karena akuisisi tinggi dan biaya pengoperasian karena kompleksitas sistem. Hal ini menyebabkan penerimaan pasar yang buruk. Sementara perusahaan masih ada, sistem tidak lagi dijual. Namun demikian, ini masih merupakan contoh menarik dari banyak teknologi selain stereolithografi, proses *prototyping* cepat yang telah digunakan sebelumnya yang juga menggunakan bahan polimer foto. Meskipun Objet Geometries Ltd. dari Israel mempertahankan hak kekayaan intelektual dari proses tersebut setelah penutupan Cubital Ltd. pada tahun 2002, teknologinya tidak lagi diproduksi.

Curing tanah padat menggunakan proses umum pengerasan *photopolymers* dengan pencahayaan lengkap dan pengerasan seluruh permukaan, menggunakan masker yang disiapkan khusus. Dalam proses SGC, setiap lapisan *prototipe* disembuhkan dengan mengekspos ke lampu ultra violet (UV) alih-alih dengan pemindaian laser. Sehingga, setiap bagian dalam lapisan disembuhkan secara simultan dan tidak memerlukan proses *pasca-curing*. Proses ini berisi langkah-langkah berikut.

- 1) Bagian melintang dari setiap lapisan irisan dihitung berdasarkan model geometris bagian dan ketebalan lapisan yang diinginkan.
- 2) Topeng optik dihasilkan sesuai dengan setiap penampang.
- 3) Setelah *leveling*, *platform* ditutupi dengan lapisan tipis *photopolymer* cair.
- 4) Topeng yang sesuai dengan lapisan saat ini diposisikan di atas permukaan resin cair, dan resin terkena lampu UV daya tinggi.
- 5) Cairan sisa dikeluarkan dari benda kerja oleh penghapus aerodinamis.
- 6) Lapisan lilin leleh tersebar di benda kerja untuk mengisi kekosongan. Lilin kemudian dipadatkan dengan mengoleskan pelat dingin.
- 7) Permukaan lapisan dipangkas dengan ketebalan yang diinginkan oleh *disk milling*.
- 8) Benda kerja saat ini ditutupi dengan lapisan tipis polimer cair dan langkah 4 hingga 7 diulang untuk setiap lapisan atas berikutnya sampai lapisan paling atas telah diproses.
- 9) Lilin dilelehkan setelah selesai bagian.

Solid Ground Curing (SGC)



Gambar 2.5 Solid Ground Curing (SGC)

2.4 3D Printer

Proses 3D printer membangun objek tiga dimensi dari model *computer-aided design* (CAD), biasanya dengan menambahkan bahan lapis demi lapis secara berturut-turut, itulah sebabnya ia juga disebut *aditif manufaktur*, tidak seperti permesinan konvensional, pengecoran dan penempaan proses, dimana bahan dihilangkan dari persediaan barang (subtraktif manufaktur) atau dituangkan ke dalam cetakan dan dibentuk dengan cara mati, tekan dan palu. Istilah "pencetakan 3D" mencakup berbagai proses di mana bahan bergabung atau dipadatkan di bawah kendali komputer untuk membuat objek tiga dimensi, dengan bahan yang ditambahkan bersama-sama (seperti molekul cair atau butiran serbuk disatukan bersama-sama), biasanya lapis demi lapisan. Pada 1990-an, teknik pencetakan 3D dianggap hanya cocok untuk produksi *prototipe* fungsional atau estetika dan istilah yang lebih tepat untuk itu adalah *rapid prototyping*. Pada 2019 presisi, pengulangan dan jangkauan material telah meningkat ke titik bahwa beberapa proses pencetakan 3D dianggap layak sebagai teknologi produksi industri, di mana istilah *aditif manufaktur* dapat digunakan secara sinonim dengan "pencetakan 3D". Salah satu keuntungan utama dari pencetakan 3D adalah kemampuan untuk menghasilkan bentuk atau geometri yang sangat kompleks, dan prasyarat untuk memproduksi bagian cetak 3D adalah model 3D digital

atau *file* CAD. Proses pencetakan 3D yang paling umum digunakan (46% pada 2018) adalah teknik ekstrusi bahan yang disebut *fused deposition modeling* (FDM).

Istilah *additive manufacturing* (AM) mendapatkan popularitas di tahun 2000-an, yang terinspirasi oleh tema bahan yang ditambahkan bersama-sama (dengan berbagai cara). Sebaliknya, istilah manufaktur subtraktif muncul sebagai *retronym* untuk keluarga besar proses pemesinan dengan penghapusan material sebagai tema umum mereka. Istilah pencetakan 3D masih hanya mengacu pada teknologi polimer di sebagian besar pikiran, dan istilah AM lebih cenderung digunakan dalam pengerjaan logam dan penggunaan konteks produksi bagian akhir daripada di antara penggemar polimer, *ink-jet*, atau *stereo litografi*.

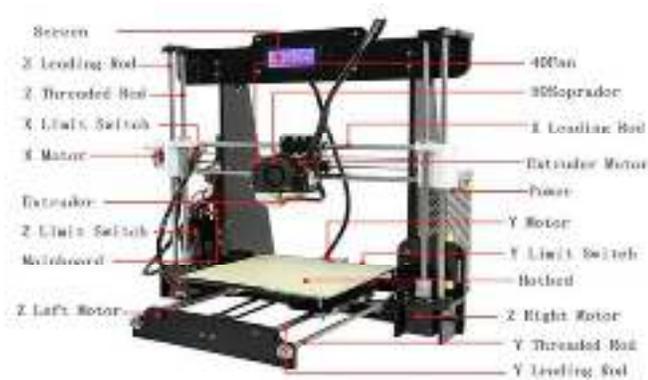
Pada awal 2010-an, istilah pencetakan 3D dan manufaktur aditif berkembang di mana mereka menjadi istilah alternatif untuk teknologi aditif, yang digunakan dalam bahasa populer oleh komunitas pembuat konsumen dan media, dan yang lainnya digunakan secara lebih formal oleh pengguna akhir industri bagian produsen, produsen mesin, dan organisasi standar teknis global. Sampai saat ini, istilah pencetakan 3D telah dikaitkan dengan mesin dengan harga rendah atau kemampuan. Pencetakan 3D dan manufaktur aditif mencerminkan bahwa teknologi berbagi tema penambahan bahan atau bergabung di seluruh amplop kerja 3D di bawah kendali otomatis. Peter Zelinski, pemimpin redaksi majalah *Additive Manufacturing*, menunjukkan pada tahun 2017 bahwa istilah tersebut masih sering identik dalam penggunaan biasa tetapi beberapa pakar industri manufaktur berusaha untuk membuat perbedaan di mana *Additive Manufacturing* terdiri dari pencetakan 3D dan lainnya teknologi atau aspek lain dari proses manufaktur.

Istilah "3D printer" awalnya mengacu pada proses yang menyimpan bahan pengikat ke *bed powder* dengan kepala printer *inkjet* lapis demi lapis. Baru-baru ini, vernakular populer telah mulai menggunakan istilah ini untuk mencakup berbagai teknik pembuatan aditif yang lebih luas seperti pembuatan aditif berkas elektron dan peleburan laser selektif. Amerika Serikat dan standar teknis global menggunakan istilah manufaktur aditif resmi untuk pengertian yang lebih luas ini.

Model 3D printer dapat dibuat dengan paket *computer-aided design* (CAD), melalui pemindai 3D, atau dengan kamera digital biasa dan perangkat lunak fotogrametri. Model cetakan 3D yang dibuat dengan CAD menghasilkan pengurangan kesalahan dan dapat diperbaiki

sebelum dicetak, memungkinkan verifikasi dalam desain objek sebelum dicetak. Proses pemodelan manual mempersiapkan data geometris untuk grafik komputer 3D mirip dengan seni plastik seperti patung. Pemindaian 3D adalah proses mengumpulkan data digital pada bentuk dan tampilan objek nyata, membuat model digital berdasarkan itu.

Model CAD dapat disimpan dalam format file stereolithografi (STL), format file CAD de facto untuk pembuatan aditif yang menyimpan data berdasarkan triangulasi permukaan model CAD. STL tidak dirancang untuk pembuatan aditif karena menghasilkan ukuran file yang besar dari bagian topologi yang dioptimalkan dan struktur kisi karena banyaknya permukaan yang terlibat. Format file CAD yang lebih baru, format *Aditif Manufacture file* (AMF) diperkenalkan pada 2011 untuk menyelesaikan masalah ini. Ia menyimpan informasi menggunakan triangulasi lengkung.

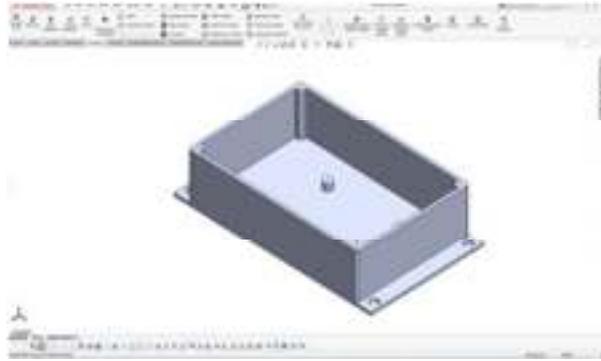


Gambar 2.6 Printer 3D

2.4.1 Mekanisme pada mesin Printer 3D

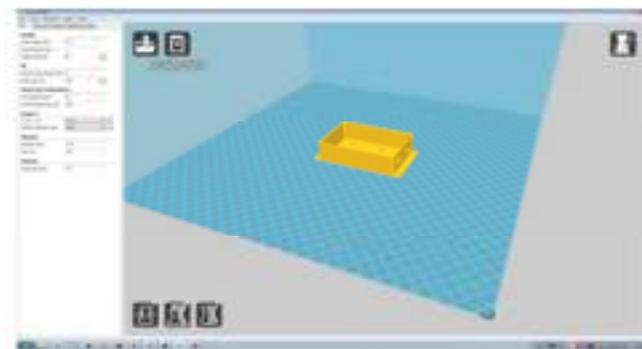
1. Model Objek 3D

Model objek 3D dapat dibuat dengan menggunakan software khusus untuk model desain 3D yang printernya mendukung contohnya solidwork, catia, autocad.



Gambar 2.7 Model Objek 3D

Proses pemodelan objek 3D disimpan (*save*) dalam format STL. Semua aktivitas 3D Printing kebanyakan akan menggunakan STL file. STL file merupakan format 3D modelling yang membuat 3D Printer melakukan tugasnya dengan nyaman dan efektif untuk memotong objek dari *layer* pada saat print. Setelah disimpan dalam format STL, maka proses selanjutnya adalah *setting parameter print*. *Setting parameter print* dapat dilakukan menggunakan beberapa software *open source* yang terdapat di internet, salah satunya ialah software Cura.

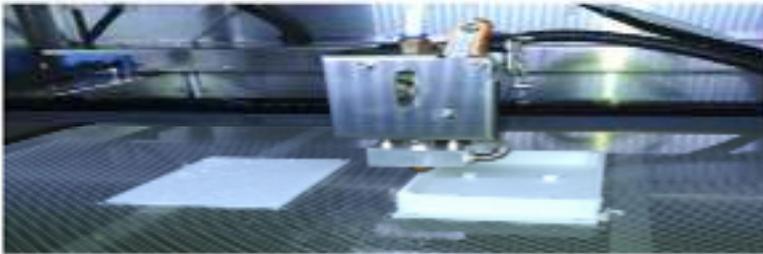


Gambar 2.8 Setting Parameter Print dengan menggunakan software Cura

Pada tahap ini parameter print dapat ditentukan, seperti: ketebalan lapisan, ketebalan dinding, ketebalan alas bawah dan atas, kepadatan lapisan, kecepatan print, temperatur print, jenis support yang digunakan, diameter filament dan aliran filament. Output yang dihasilkan dari software Cura berupa file G-CODE yang kemudian dapat diproses oleh 3D printer.

2. Proses Printing

Apabila desainnya sudah dibuat anda bisa langsung print di mesin printer 3D. Kemudian proses pencetakan ini tergantung dari besar dan ukuran model. Proses printing menggunakan prinsip Additive Layer dengan rangkaian proses mesin membaca rancangan 3D dan mulai menyusun lapisan secara berturut turut untuk membangun model virtual digabungkan secara otomatis untuk membentuk susunan lengkap yang utuh.



Gambar 2.9 Proses Printing

3. Finishing

Pada tahap ini anda dapat menyempurnakan bagian bagian kompleks yang bisa jadi disebabkan oleh over sized atau ukuran yang berbeda dari yang diinginkan. Teknik tambahan untuk menyempurnakan proses ini dapat pula menggunakan teknik multiple material atau kombinasi warna.



Gambar 2.10 Hasil print 3D printer

2.5 Format File STL Dalam Pencetakan 3 Dimensi

STL file adalah format file yang biasa digunakan untuk file dari objek tiga dimensi dan digunakan untuk menyimpan data dari suatu model 3D. Format file STL ini hanya mendeskripsikan geometri dari permukaan sebuah objek tiga dimensi tanpa representasi mengenai warna, tekstur atau atribut lain dari sebuah objek 3 dimensi. Format file STL biasanya

dihasilkan oleh sebuah program CAD (*Computer-Aided Design*) dan merupakan hasil akhir dari suatu proses *3D modeling*.

Format file STL biasaya digunakan untuk pencetakan 3D, ketika digunakan dengan sebuah program *3D slicer*, memungkinkannya sebagai jembatan komunikasi antara komputer dengan perangkat printer 3D. Format file STL ini telah banyak diadopsi dan disupport oleh banyak software CAD dan saat ini telah banyak digunakan untuk keperluan *rapid prototyping*, pencetakan 3D dan manufaktur. Termasuk para *hobiist* dan profesional telah banyak yang menggunakannya.

2.6 Jenis-jenis filament

a) ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

ABS merupakan bahan yang paling umum digunakan oleh mesin cetak 3 dimensi. Material ini adalah bahan yang digunakan untuk membuat blok-blok lego. ABS cenderung mudah digunakan untuk mencetak namun memiliki kecenderungan untuk menyusut dalam proses pendinginannya sehingga sedikit mempengaruhi hasil cetak. Ketika menggunakan ABS, alas cetak harus dipanaskan dan diberi perekat. Bahan ini relatif aman bagi manusia namun sedikit menghasilkan bau plastik ketika ABS dipanaskan.



Gambar 2.11 Filamet ABS (Acrylonitrile Butadine Styrene)

b) PLA (Poly Lactic Acid)

PLA merupakan salah satu jenis plastik polimer yang terbuat dari bahan-bahan yang dapat terurai, seperti tepung jagung, tepung tapioka, atau olahan tebu. Karena terbuat dari bahan

yang mudah terurai, PLA ramah lingkungan. Hal inilah yang membuat bahan ini semakin banyak mendapatkan popularitas. PLA dapat menghasilkan cetakan yang kuat dan sangat rapi.



Gambar 2.12 Filament Pla (Polyactic Acid)

c) HIPS (*High Impact Polystyrene*)

Sangat mirip dengan ABS perbedaan utama adalah bahwa HIPS dapat larut dalam larutan Limonene. Dapat juga untuk mencetak object 3D yang kompleks dengan kombinasi 3D filament lain, dimana HIPS sebagai bahan pendukung/support yang kemudian dapat dengan mudah dihilangkan dengan menempatkan hasil 3D Print di larutan D-Limonene oil. Ini adalah alternatif yang fantastis untuk pembersihan bahan pendukung/support.

d) PVA (Polyvinyl Alkohol)

Merupakan 3D filament printer yang larut dalam air. Fitur ini membuat filamen PVA sangat cocok sebagai bahan pendukung/support untuk 3D Print PLA yang kompleks.

e) *Flexible PLA*

Tidak berbahaya / beracun dan merupakan 3D Filament yang menghasilkan 3D *print* yang *flexible* dan elastis.

f) PETG (Glycol-modified PET)

PETG *filament* (Glycol-modified PET; Co polyesters) adalah senyawa plastik yang satu famili dengan PET (Polyethylene terephthalate). Memiliki penggabungan keunggulan dari senyawa plastik ABS dan PLA, serta memiliki warna yang bening/transparan dan kilap.

g) *Color Change By UV*

Color Change By UV filament merupakan 3D printer *filament* yang akan berubah warnanya bila terkena Sinar UV atau Sinar Matahari.

h) *Color Change By Temperature*

Color Change By Temperature filament merupakan 3D printer *filament* yang akan berubah warnanya bila terpapar / kontak dengan panas (dicelup air panas).

i) *Wood*

Wood filament adalah 3D printer filament yang memiliki karakteristik warna dan hasil seperti kayu.

j) *Bronze*

Bronze filament adalah 3D printer filament yang memiliki karakteristik warna & hasil mirip *Bronze*.

2.7 Software Autocad

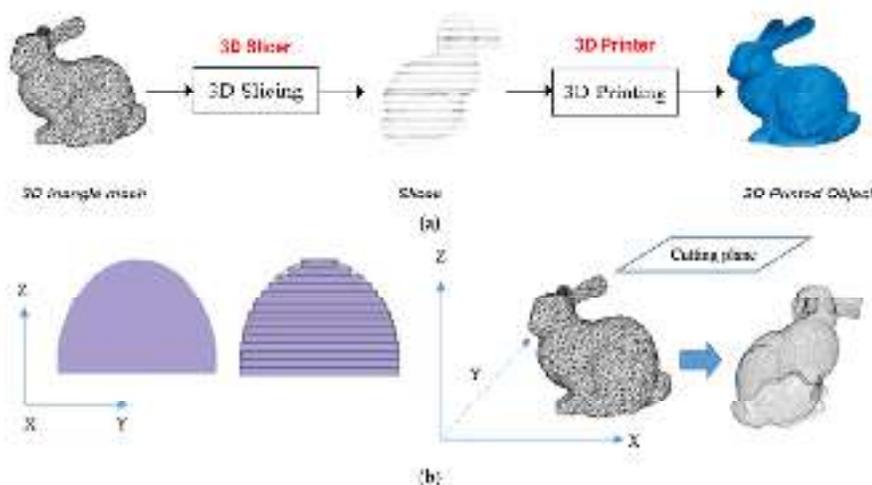
Sebagai software CAD, Autocad dipercaya sebagai perangkat lunak untuk membantu proses desain suatu benda atau bangunan dengan mudah. Di Indonesia sendiri terdapat banyak perusahaan manufaktur yang mengimplementasikan perangkat lunak Autocad. Keunggulan Autocad dari software CAD lain adalah mampu menyediakan sketsa 2D yang dapat diupgrade menjadi bentuk 3D. Selain itu pemakaiannya pun mudah karena memang dirancang khusus untuk mendesai benda sederhana maupun yang rumit sekali pun. Inilah yang membuat Autocad menjadi populer dan menggeser ketenaran software CAD lainnya.

Autocad dipakai banyak orang untuk membantu desain benda atau bangunan sederhana hingga yang kompleks. Autocad banyak digunakan untuk merancang roda gigi, mesin mobil, *casing* ponsel dan lain-lain. Fitur yang tersedia dalam Autocad lebih *easy-to-use* dibanding dengan aplikasi CAD lainnya. Bagi mahasiswa yang sedang menempuh pendidikan di jurusan Teknik Sipil, Teknik Industri dan Teknik Mesin sangat disarankan untuk mempelajari Autocad. Karena Autocad sangat sesuai dengan kebutuhan mahasiswa yang mengambil tiga jurusan tersebut dan yang paling utama proses penggunaan Autocad lebih cepat dibanding vendor-vendor software CAD lain yang lebih dulu hadir. Juga dapat melakukan simulasi pada desain

yang telah buat dengan Autocad. Analisa kekuatan desain juga dapat dilakukan secara sederhana dengan Autocad. Dan yang paling penting, dapat membuat desain animasi menggunakan fitur yang telah disediakan Autocad.

2.8 Software Slicer

Slicer atau dalam bahasa Indonesia diterjemahkan menjadi perangkat lunak pemotong, adalah software komputer yang menjadi inti dari pemrosesan gambar menjadi perintah pergerakan mesin. Software *slicer* akan menerima file berbentuk STL dan OBJ (atau bisa disebut *file mesh* dengan koordinat titik spesifik) dan diproses sehingga menghasilkan perintah mesin berupa *G code*. Secara umum *G code* ini adalah kode yang digunakan untuk pergerakan 3D printer hingga CNC.



Gambar 2.13 Tahap *slicing* sampai tahap *printing*

Awalnya *slicer* akan merubah objek menjadi banyak tumpukan dari *layer* atau bagian, diikuti dengan perintah pergerakan dari *printer extruder* pada setiap layernya. I juga bisa memerintahkan dan mengontrol suhu *nozzle* dan suhu *bed*, pergerakan tarik ulur pada *extruder*. File ini dimasukkan semua di G code dan G code ini bisa dibaca oleh 3D printer.

Jadi pada dasarnya *slicer* adalah software control 3D printer. 3D printer hanya menerima kode /perintah dari *slicer* dan menterjemahkannya di pergerakan dan peningkatan suhu. 3D printer tidak mampu langsung menerima file 3D dalam bentuk STL, OBJ ataupun Dwg.

Slicer 3D printer yang ada di pasaran diantaranya:

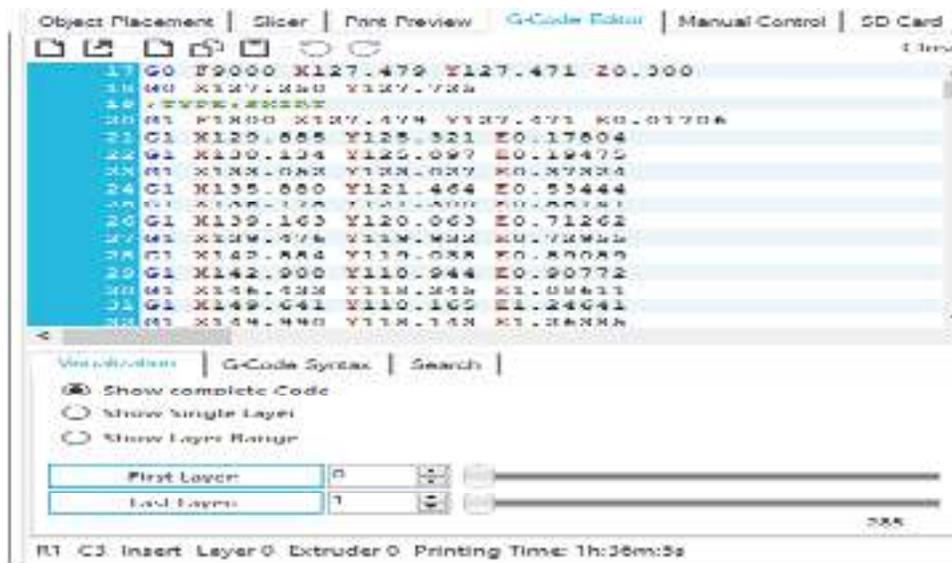
1. Ultimaker Cura
2. Simplify3D
3. Repetier Host

2.9 Program G-Code dan M- Code

2.9.1 G-Code

G-code adalah salah satu nama yang umum dalam bahasa pemrograman Numerical Control. Ini digunakan terutama dalam pembuatan dengan bantuan komputer untuk mengontrol peralatan mesin otomatis seperti CNC dan printer 3D. Setelah gambar yang dibuat di simpan dalam format STL serta selesai diedit di aplikasi slicing, maka cukup *slice* dan simpan file dengan format G-code yang akan digunakan untuk printer.

G-code adalah bahasa pemrograman printer 3D. Semua parameter dan pengaturan lain yang telah diubah akan dibaca G-code. Dengan menggunakan G-code, komputer memberi tahu dan memerintahkan printer kapan, di mana, bagaimana memindahkan, dan berapa banyak yang harus diekstrusi selama seluruh proses cetak. File STL akan diubah ke titik demi titik dan printer akan melewati titik-titik ini. G-Code adalah karya yang akan diterjemahkan oleh printer 3D.



Gambar 2.14 G-code

2.9.2 M-Code

M-code juga merupakan salah satu nama yang umum dalam bahasa pemrograman Numerical Control. M-code banyak digunakan dalam CNC. Selain itu, M-code juga ada digunakan dalam printer 3D.

2.9.3 Istilah-Istilah G-code dan M-code

1. G-code

Tabel 2.1 Istilah-istilah G-code

No.	Istilah	Penjelasan
1	G00	Pengeposisian bebas
2	G01	Interpolasi lurus
3	G02	Interpolasi melingkar searah jarum jam (CW)
4	G03	Interpolasi melingkar berlawanan arah jarum jam (CCW)
5	G04	Program berhenti pada waktu tertentu
6	G10	Data program dapat di-input
7	G15	Pembatalan perintah koordinat polar
8	G16	Perintah koordinat polar
9	G17	Interpolasi helical
10	G20	Konversi satuan inchi (british)
11	G21	Konversi satuan mm (metric)
12	G28	Pengembalian posisi referensi
13	G31	Perintah skip (melangkahi)
14	G33	Pembuatan ulir (<i>Threading cutting</i>)
15	G40	Cancel kompensasi cutter
16	G43, G44	Kompensasi panjang tool positif (G43), Negatif (G44)
17	G45	Menaikkan <i>offset tool</i>
18	G46	Menurunkan <i>offset tool</i>
19	G47	Menaikkan ganda <i>offset tool</i>

20	G48	Menurunkan ganda <i>offset tool</i>
21	G49	Pembatalan kompensasi panjang <i>tool</i>
22	G52	Penyatuan system koordinat local
23	G54, G55, G56, G57	Sistem koordinat <i>workpiece</i>
24	G60	Pengeposisian arah tunggal
25	G63	Pengerjaan <i>tapping</i> (ulir dalam)
26	G64	Pengerjaan pemotongan
27	G60	Menghitung putaran <i>tapping</i>
28	G74	Pengerjaan proses <i>canned cycle</i>
29	G76	Pembatalan pengerjaan siklus
30	G80	Pengoperasian eksternal atau putaran drilling
31	G81	Keliling <i>counter boring</i>
32	G82	<i>Peck drilling cycle</i>
33	G83	Pengerjaan <i>keliling Tapping</i>
34	G84	Pengerjaan <i>keliling boring</i>
35	G85	Perintah system koordinat <i>absolute</i>
36	G90	Perintah system koordinat <i>incremental</i>
37	G91	Penentuan asutan pemakanan dalam (inchi/menit)
38	G94	Kecepatan potong permukaan konstan
39	G95	Penentuan asutan pemakanan dalam (inchi/putaran)
40	G96	Kembali ke titik initial di sebuah siklus
41	G99	Kembali ke titik R di sebuah siklus

2. M-Code

Tabel 2.2 Istilah-istilah M-code

No.	Istilah	Penjelasan
1	M00	Pengeposisian bebas
2	M01	Interpolasi lurus

3	M02	Interpolasi melingkar searah jarum jam (CW)
4	M03	Interpolasi melingkar berlawanan arah jarum jam (CCW)
5	M04	Program berhenti pada waktu tertentu
6	M05	Data program dapat di-input
7	M06	Pembatalan perintah koordinat polar
8	M07	Perintah koordinat polar
9	M08	Interpolasi <i>helical</i>
10	M09	Konversi satuan <i>inchi</i> (british)
11	M10	Konversi satuan mm (metric)
12	M11	Pengembalian posisi referensi
13	M19	Perintah skip (melangkahi)
14	M23	Pembuatan ulir (<i>Threading cutting</i>)
15	M24	Cancel kompensasi <i>cutter</i>
16	M29	Kompensasi panjang <i>tool</i> positif (G43), Negatif (G44)
17	M30	Menaikkan <i>offset tool</i>
18	M48	Menurunkan <i>offset tool</i>
19	M50	Menaikkan ganda <i>offset tool</i>
20	M52	Menurunkan ganda <i>offset tool</i>
21	M53	Pembatalan kompensasi panjang <i>tool</i>
22	G54	Penyatuan system koordinat local
23	M80	Sistem koordinat <i>workpiece</i>
24	M81	Pengeposisian arah tunggal
25	M90	Pengerjaan <i>tapping</i> (ulir dalam)
26	M91	Pengerjaan pemotongan
27	M98	Menghitung putaran <i>Tapping</i>
28	M99	Pengerjaan proses <i>canned cycle</i>
29	M104, M190	M107, Sering digunakan dalam printer 3D

2.10 Kekerasan pada plastik

Kekerasan dari suatu plastik umumnya mengacu pada kemampuan suatu bahan plastik untuk menahan gaya tekan dari suatu material yang kaku, dan nilai numeriknya dapat dianggap sebagai suatu refleksi kuantitatif dari tingkat kelembutan dan kekerasan dari plastik tersebut. Meskipun kekerasan plastik tidak memiliki korespondensi yang melekat dengan sifat mekanik lainnya seperti kekerasan bahan logam, kekerasan adalah indikator penting dari kontrol kualitas bahan dan inspeksi produk.

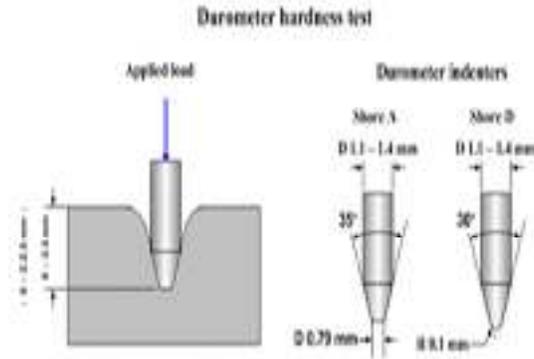
2.10.1 Metode Pengukur dan Skala Durometer

Durometer merupakan instrumen yang menggunakan prinsip yang digunakan untuk mengukur kekerasan didasarkan pada mengukur kekuatan perlawanan dari penetrasi jarum ke dalam bahan uji di bawah beban pegas diketahui. Beberapa bahan yang dapat diuji oleh durometer (jenis durometer) yaitu, ada yang digunakan untuk Karet, Plastik, Pipa, Kayu dan lain – lain.

Kekerasan dapat didefinisikan sebagai perlawanan bahan untuk indentasi permanen. Skala durometer didefinisikan oleh Albert F. Pada tahun 1920, Shore merupakan pengembangan perangkat pengukuran untuk mengukur Shore kekerasan. Sebutan durometer ini kerap digunakan untuk merujuk terhadap pengukuran dan juga instrumen itu sendiri.

Perangkat ini biasanya digunakan sebagai ukuran kekerasan dalam polimer, elastomer, dan karet. Tetapi perangkat shore ini bukan lah tester kekerasan pertama maupun pertama yang disebut sebagai durometer (ISV duro+ meter; dibuktikan sejak abad ke-19). Namun sekarang perangkat ini biasanya mengacu pada kekerasan Shore (perangkat lain hanya disebut Hardness tester).

Skala Durometer



Gambar 2.15 Skala Durometer

Durometer ini ada beberapa skala yang digunakan untuk bahan dengan sifat yang berbeda. Ada dua skala yang paling umum digunakan yaitu tipe A dan tipe D. Skala A ini digunakan untuk plastik yang lembut, sedangkan skala D digunakan untuk yang lebih keras. Namun, standar pengujian untuk total 12 sisi, tergantung pada tujuan penggunaan ; tipe A , B , C , D , DO , E , M , O , OO , OOO , OOO – S , dan R. Setiap skala menghasilkan nilai antara 0 dan 100 , dengan nilai yang lebih tinggi menunjukkan bahwa material tersebut lebih keras.

2.10.2 Metode Pengukuran

Sama halnya seperti banyak uji kekerasan lainnya, bahwa durometer ini mengukur kedalaman lekukan dalam materi yang di ciptakan oleh sebuah kekuatan yang diberikan pada kaki Presser standar. Kedalaman ini tergantung pada kekerasan material yaitu, sifat viskoelastiknya, bentuk kaki Presser, dan waktu pengujian.

Cara kerja dari alat ukur kekerasan permukaan ini adalah dengan meletakkan penetrasi jarum ke dalam bahan uji di bawah beban pegas diketahui yang dipasangkan pada alat tersebut, selanjutnya sejajarkan alat ukur permukaan tersebut dengan bidang material yang akan di uji. Pada saat pengerjaannya, alat ukur ini tidak boleh bergerak karena akan mengganggu hasil dalam membaca kekesaran dari permukaan material tersebut.



Gambar 2.16 shore harness tester (Durometer)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

a) Tempat

Lokasi pembuatan kotak yang dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Universitas HKBP Nommensen Medan yang bertempat di jalan Sutomo No.4A Medan.

b) Waktu

Lamanya pembuatan dan pengambilan data di perkirakan selama 2 bulan.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan spesimen, adalah sebagai berikut :

a. Komputer atau Laptop

Berfungsi untuk menggambar objek yang dirancang.



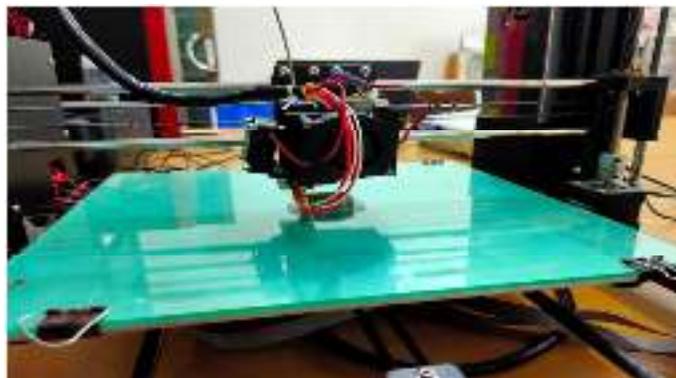
Gambar 3.1 Laptop

Spesifikasi laptop yang digunakan dalam studi numeric ini adalah sebagai berikut:

1. Processor : Intel(R) Core(TM) i3-7020U CPU 2.3 GHz
2. RAM : 4.00 GB
3. Operation system : windows 10 pro 64 bit operation system

b. Mesin 3D *printing*

Berfungsi untuk mencetak objek yang digambar



Gambar 3.2 Mesin 3D Printing

c. Filamen PLA

Filamen adalah bahan yang akan diekstrusi melalui nosel yang berfungsi sebagai bahan untuk membuat produk. Filamen akan dipanaskan dengan sistem pemanas yang kemudian berubah menjadi bahan semi-padat. PLA merupakan salah satu jenis plastik polimer yang terbuat dari bahan-bahan yang dapat terurai, seperti tepung jagung, tepung

tapioka, atau olahan tebu. Karena terbuat dari bahan yang mudah terurai, PLA ramah lingkungan. PLA dapat menghasilkan cetakan yang kuat dan sangat rapi. Proses pembentukan objek tiga dimensi yang digunakan dalam proses FDM adalah lapis demi lapis. Bahan filamen yang diekstrusi akan mengeras dengan cepat setelah melewati *nozzle*. Ketebalan lapisan (*layer high*) berkisar antara 0,1-0,5 mm atau menyesuaikan dengan diameter *nozzle*. Untuk lebar lapisan (lebar ekstrusi) berkisar antara 0,2 mm - 0,1 mm tergantung pada diameter nosel dan ketebalan lapisan. *Hölzl et al., 2016 menyatakan* Viskositas filamen/tinta dapat berkisar dari 0,030 Pa hingga 6×10^4 Pa untuk sistem berbasis ekstrusi tergantung saat diekstrusi dan tidak diekstrusi.

Spesifikasi filamen PLA

- print temperature: $180^{\circ}\text{C} - 230^{\circ}\text{C}$
- print bed temperature: $20^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$.



Gambar 3.3 Filament PLA

d. Gunting

Berfungsi untuk memotong filamen



Gambar 3.4 Gunting filamen

e. Kertas Pasir

Berfungsi untuk pengamplasan



Gambar 3.5 Kertas Pasir

f. Jangka Sorong

Berfungsi untuk alat ukur benda yang ingin digambar



Gambar 3.6 Jangka sorong

3.3 Spesifikasi Printer 3D yang Digunakan

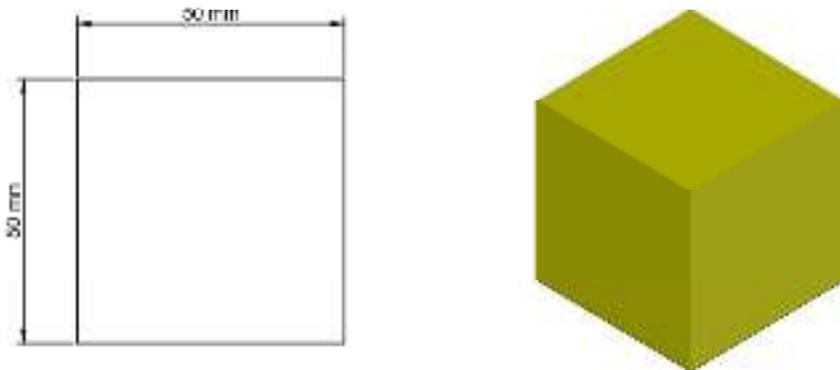
1. Nama merek : Anet
2. Filamen : PLA
3. Tegangan : 110-220 V
4. Diameter *nozzle* : 0.4 mm
5. Kecepatan percetakan : 100-120 mm/s
6. *Printing technology* : FDM
7. *Printer size* : 300 x 300 x 350 mm
8. Format file : STL
9. Temperatur maksimum *nozzle* : 250 °C

10. Temperatur maksimum plate : 100 °C
11. Bahasa : *English*

3.4 Ukuran Gambar dan Spesimen uji kekerasan

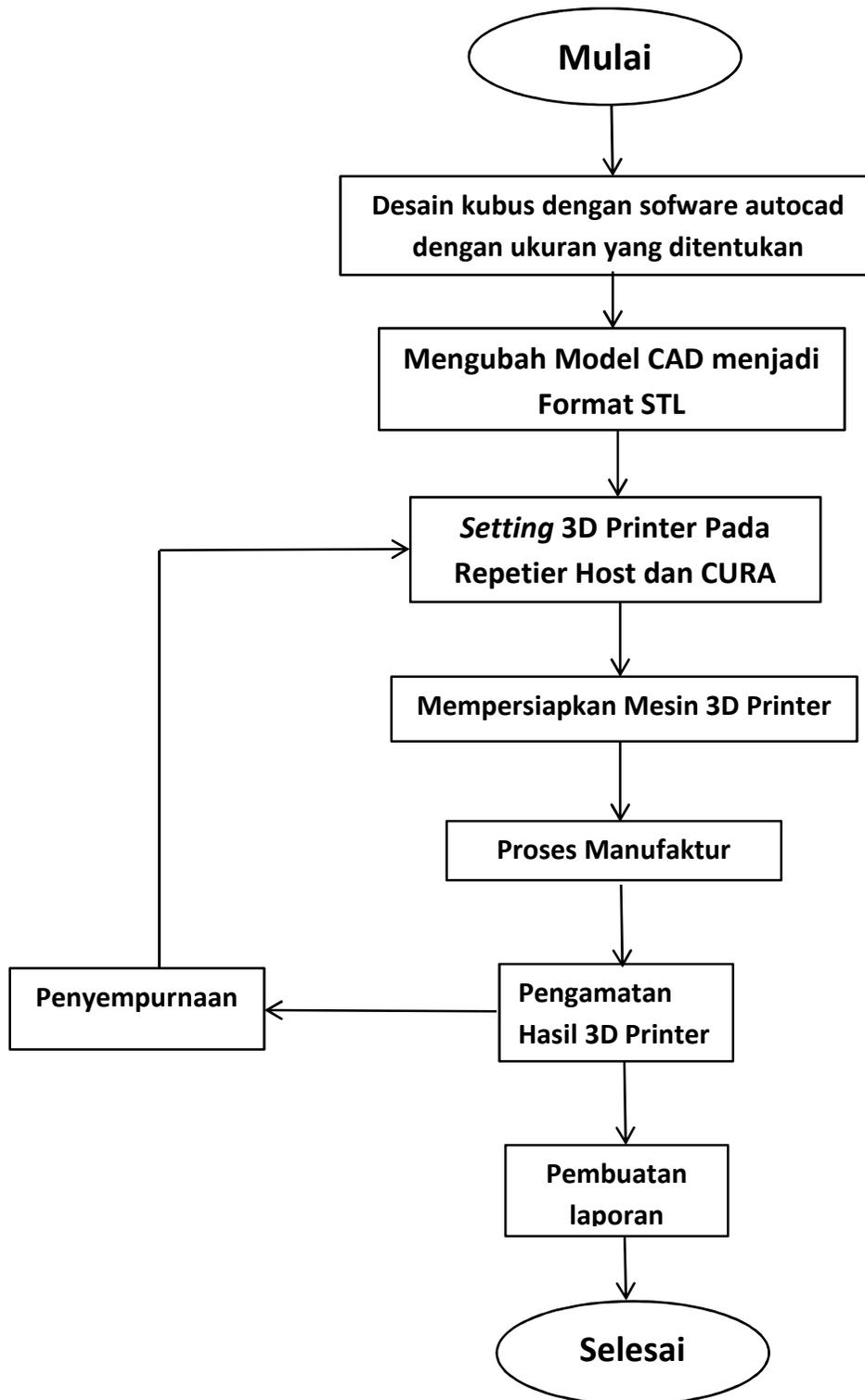
Spesimen uji kekerasan dengan ukuran yang ditentukan dengan Temperatur cetak filament PLA 190 °C, 200 °C, 220 °C dan Kecepatan 100 m/s, 110 m/s, 120 m/s.

Dimensi spesimen 50x50x50 mm.



Gambar 3.7 Gambar 2 Dimensi

3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.8 Diagram Alir Penelitian