

## BAB II

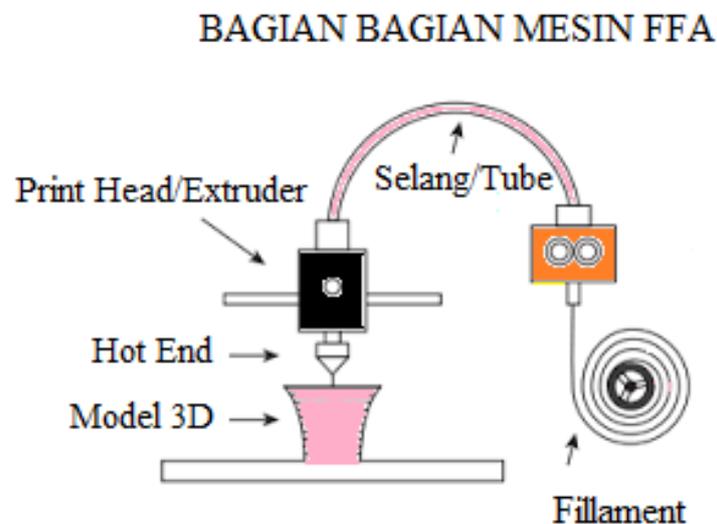
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Rapid Prototyping Jenis Fused Fillament Fabrication (FFA)*

Rapid *prototyping* merupakan teknik yang dapat digunakan untuk mengubah data computer *design* (CAD) menjadi benda 3D, dengan *manufacturing* adiktif atau teknologi 3D printer. Berkembangnya teknologi rapid *prototyping* yang menggunakan teknologi 3D printer membuat proses desain atau pengembangan produk menjadi lebih cepat. Dalam pengembangan produk atau desain produk tidak akan terlepas oleh kebutuhan untuk membuat suatu contoh hasil produk atau *prototype* sebelum memproduksi produk secara masal. Tujuan dari hal ini adalah untuk memaksimalkan efisiensi dan evaluasi produk. Dengan desain produk yang baik maka biaya manufaktur dan *assembly* dari produk dapat di minimalisir. Teknologi 3D printer saat ini sudah semakin banyak digunakan oleh industri karena memiliki banyak kelebihan, antara lain pilihan jenis material yang sangat banyak, proses pembuatan yang cepat, biaya perawatan rendah, serta mampu membuat benda dengan bentuk geometris yang kompleks. Teknologi rapid *prototyping* yang paling umum sekarang adalah dengan menggunakan adiktif *manufacturing*. Beberapa teknologi rapid *prototyping* yang berkembang saat ini adalah *Stereolithography* (SLA), *Selective Laser Sintering* (SLS), dan *Fused Fillament Fabrication* (FFA). Sejak awal teknologi print pada tahun 1984 yang dinamakan *solid freeform fabrication* yang pada jaman sekarang disebut juga sebagai 3D printer. Terdapat banyak jenis teknologi rapid *prototyping* yang paling umum digunakan adalah dengan menggunakan *Fused Fillament Fabrication* (FFA) (1).

*Fused Fillament Fabrication* (FFA) adalah *Manufacturing* adiktif atau 3D printer yang telah menjadi populer untuk menciptakan *prototype* dengan cepat sejak 1980-an yang diciptakan oleh *Scott Crump*, metodenya menggunakan *fillament* termoplastik yang dipanaskan sampai titik leleh dan kemudian diekstrusi oleh *nozzle* secara lapis demi lapis untuk membuat objek tiga dimensi 3D. Cara kerja *Fused Fillament Fabrication* (FFA) yakni objek yang dibuat dengan printer

FFA mulai keluar sebagai desain (CAD) file dibantu komputer, sebelum sebuah objek dapat dicetak file harus diubah keformat 3D printer yang bisa dipahami yaitu STL. Selama pencetakan bahan-bahan ini berbentuk benang plastik atau *fillament* yang diekstrusikan oleh *nozzle*. Bagian – bagian pada mesin FFA dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Bagian-bagian Mesin FFA  
(Sumber : Dokumen Pribadi)

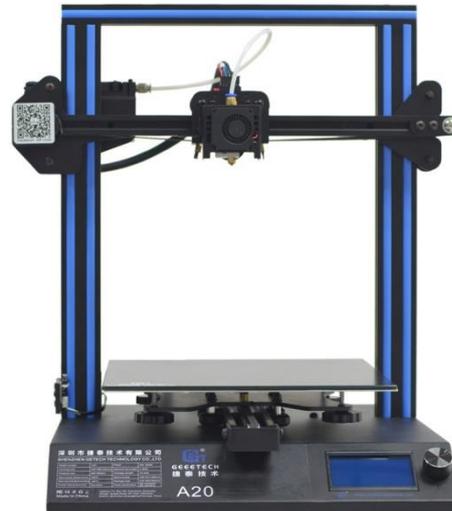
Saat mesin *Fused Filament Fabrication* ini mulai bekerja, material *fillament* akan dilelehkan oleh sistem pemanas (*heater*), material yang digunakan adalah termoplastik berbentuk *fillament* yang dipanaskan pada sebuah *heater*. Temperatur diatur dan dipertahankan oleh heater sehingga dapat membuat material menjadi semi-solid supaya mudah diekstrusi. Beberapa material yang dapat digunakan untuk bahan baku *fillament* adalah polimer jenis termoplastik yang dapat didaur ulang seperti *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), *polycarbonate* (PC), *nylon*, *polylactic acid* (PLA), *Polyethylene* (PE), dan *Polypropylene* (PP).

## 2.2 Sejarah 3D print

3D print pertama kali ditemukan dan dicetus oleh *Charles W. Hull* pada tahun 1986. *Charles W. Hull* merupakan penemu proses pencitraan padat yang dikenal sebagai *stereolithography* atau 3D Printer, teknologi prototipe cepat komersial pertama. Teknologi ini digunakan untuk membuat model 3D dari sebuah gambar digital dan memungkinkan pengguna untuk menguji desain sebelum diterapkan pada proses manufaktur yang lebih besar.

3D Printer adalah sebuah printer yang menampilkan data dalam bentuk cetakan, namun berbeda dengan printer biasanya yang mencetak data dalam sebuah kertas ataupun lembaran lainnya. Dengan teknologi dari 3D printer sebuah perusahaan dapat membuat sebuah *prototype* tanpa harus menghabiskan bahan baku ataupun material. 3D printer juga merupakan bentuk teknologi manufaktur adiktif dimana mesin akan membuat benda berbentuk tiga dimensi dengan cara membuat dan meletakkan lapisan material secara berturut-turut.

Sistem kerja dari 3D Printer menggunakan teknik *Fused Fillament Fabrication*(FFA) yang dikembangkan oleh *Stratasys di Eden Prairie, Minnesota*. Dalam proses ini, bahan plastik yang telah dibentuk berupa *fillament* yang diekstrusi melalui ekstruder yang digerakkan sesuai dengan koordinat yang telah disesuaikan dalam program kemudian dibentuk lapis demi lapis. Ekstruder terdiri dari *nozzle* dan pemanas resistif yang menjaga plastik dalam suhu diatas titik lelehnya sehingga mudah mengalir pada *nozzle* dan membentuk lapisan. Setelah cairan plastik melewati *nozzle* maka akan membentuk pola lapisan sesuai dengan desain yang telah ditentukan [2]. Mesin 3D Printer dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 mesin 3D printer  
(Sumber : Geeetech A20 Impresora 3d Besar Tingkat Industri)

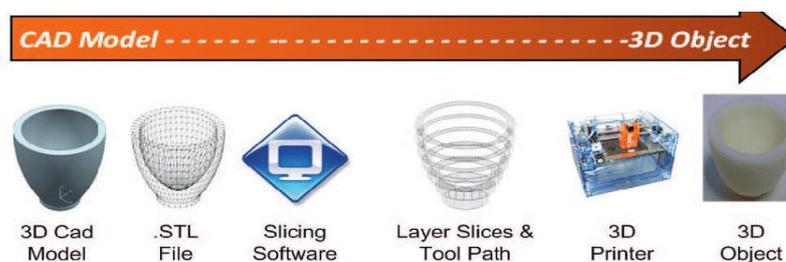
Aplikasi teknologi 3D printer ini banyak digunakan terutama untuk membuat purwa rupa (*prototype*) pada industri telepon genggam, penerbangan, otomotif, sepatu, desain industri, arsitektur, konstruksi, dental, industri medis, pendidikan, teknik sipil dan lainnya. Dengan memanfaatkan teknologi ini perancang akan dengan cepat mewujudkan kreasinya menjadi obyek 3D, sehingga segera dapat dianalisa kelayakan suatu produk seperti ergonomi dan lainnya. Ada beberapa komponen utama pada mesin 3D printer berbasis FFA.

Berikut adalah bagian-bagian mesin 3D printer :

1. *Frame* adalah struktur utama untuk menopang mesin 3D printer. *Frame* harus kaku dan kokoh sehingga cetakannya bisa terbentuk dengan akurat.
2. *Print head* adalah bagian dari printer yang berguna untuk melelehkan dan menggerakkan *fillament*. *Print head* terdiri dari *nozzle*, *heater*, dan *fan*.
3. *Nozzle* adalah bagian untuk mengeluarkan bahan yang berbentuk semi-solid setelah melewati *heater*. *Nozzle* menentukan kemampuan bahan dapat dicairkan dengan benar. *Nozzle* berkualitas baik dapat menyuplai bahan seperti *polikarbonat*, *nylon*, dan plastik suhu tinggi lainnya.

4. *Build platform* atau *bed* adalah permukaan datar untuk mencetak. Beberapa printer memiliki *bed* yang dapat dipanaskan untuk memungkinkan pencetakan bahan yang perlu dijaga temperaturnya selama proses cetak.
5. *Bowden* berfungsi untuk mengatur *fillament* saat didorong atau ditarik oleh motor.
6. *Moving Parts* adalah kombinasi motor *stepper* yang terpasang pada sekrup, kabel, *belt*, dan sistem lain yang menempel pada *pulley*. Motor untuk printer 3D biasanya memiliki 200 *step per revolution*. Setidaknya ada 5 motor *stepper* pada 3D printer.
7. *Electronics Control* terdiri dari mikroprosesor dan sebuah *board* sebagai kontrol untuk program pada mesin 3D printer. Sebagian besar printer 3D adalah sistem loop terbuka.

Prosedur umum dalam penggunaan 3D Printer yaitu dimulai dari ide desain yang akan dibuat, kemudian ide tersebut dituangkan dalam gambar 3D melalui software CAD seperti *Solidworks*, *Autocad*, *Sketchup*, dan sebagainya. Desain yang telah digambar tersebut disimpan dalam format file *.stl* (dot STL) kemudian diolah ke software seperti *Repetier*, *Cura* atau *Slicer* yang bertujuan untuk mengonversi file format *.stl* ke file *.gcode* supaya mesin 3D Printer dapat membaca desain yang akan dibuat. Setelah dikonversi file tersebut dimasukkan kedalam *motherboard* 3D Printer melalui Micro SD Card yang telah disiapkan dan memproses desain tersebut untuk menghasilkan produk 3 dimensinya. Proses kerja 3D Printer dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Proses kerja dari 3D Printer  
(Sumber : 3D Scanning, Imaging, and Printing in Orthodontics)

### 2.2.1 Parameter Pada Mesin 3D Printer

Parameter adalah suatu acuan yang digunakan untuk mengatur suatu nilai pada mesin untuk dapat memberikan hasil yang diinginkan pada saat proses. Pada mesin 3D printing parameter dimasukan melalui sebuah software slicer untuk menghasilkan bahasa program yaitu *G-code*, selanjutnya akan dibaca oleh mesin sebagai perintah untuk proses mencetak. Berikut parameter-parameter yang ada pada mesin 3D printer.

1. *Nozzle* temperatur adalah temperatur pada saat *fillament* diekstrusi.
2. *Bed* temperatur adalah temperatur pada papan/plat dimana objek menempel saat dicetak.
3. *Layer height* adalah ketebalan setiap lapisan.
4. *Extrusion width* adalah lebar pada material yang telah ekstrusi. Besar nilai *extrusion width* harus lebih besar dari *layer height*.
5. *Perimeters* adalah jumlah minimum *shell* vertikal (dinding) yang akan dicetak.
6. *Fill density* adalah tingkat kerapatan pada bagian inti dari objek yang akan dicetak. *Fill density* berkisar 0 sampai 100%.
7. *Fill pattern* adalah pola pengisian pada bagian inti objek. Namun *fill pattern* hanya dapat dilakukan dengan *fill density* kurang 100%. Memilih *fill pattern* tergantung pada jenis model, kekuatan struktural yang diinginkan, dan kecepatan cetak. Pola infill pada umumnya berbentuk *rectilinear*, *line*, dan *honeycomb*.
8. *Raster angle* adalah sudut pola infill (*infill pattern*).
9. *Raft layers* berfungsi menambahkan lapisan tambahan di bawah model pada saat awal pencetakan yang berguna untuk menopang bagian layer yang mengambang. *Raft* memerlukan proses tambahan untuk menghilangkannya.
10. Kecepatan adalah kecepatan gerak pada saat mencetak. Pada pengaturan *default* hanya ada tiga pengaturan kecepatan yang perlu dipertimbangkan:  
*Perimeters speed* adalah kecepatan outline pada model. Proses cetak yang sedikit lebih lambat dapat membuat outline cetakan memiliki sisa material ekstrusi yang lebih sedikit.

*Infill speed* adalah kecepatan pada pola dari inti objek 3D. Kecepatan yang lebih tinggi menghasilkan ekstrusi yang lebih tipis, dan hal ini dapat mempengaruhi ikatan antar bagian yang ekstrusi.

*Travel speed* adalah gerak *nozzle* untuk berpindah pada saat tidak melakukan proses cetak.

11. *Brim width* berfungsi untuk menambahkan perimeter lebih ke lapisan pertama sebagai dasar, yang berguna untuk memberi area permukaan lebih banyak agar dapat menempel pada bed dan mengurangi *warping* (sudut cetak terlepas dari *bed*).

### 2.2.2 Pembuatan Model 3D

Membuat file tiga dimensi adalah bagian pertama dari proses pencetakan 3D. Langkah selanjutnya adalah membentuk lintasan cetak yang disebut *slicing*. Program *slicing* harus memperhitungkan karakteristik fisik printer dan geometri model yang sedang dicetak. Langkah ini adalah untuk membuat file *G-code*. Proses *slicing* yang terdapat pada 3D printer perlu menentukan sejumlah pengaturan seperti bahan, temperatur, waktu untuk mengekstrusi bahan, dan pengaturan lain yang terdapat pada masing-masing program *slicer*. Pembuatan pola lintasan mesin rapid *prototyping* bertujuan agar pergerakan dapat dilakukan secara robotik pada bidang X,Y,Z. Proses-proses ini membutuhkan pengaturan dalam pembuatan lintasan yang berbeda.

Pengaturan untuk proses *slicing* dikategorikan ke dalam empat kelompok meliputi:

1. Metode *slicing* model CAD dengan ketebalan yang seragam (*uniform*)
2. Metode *slicing* model CAD dengan ketebalan *layer adaptive*
3. Metode *slicing* model CAD dengan ketebalan *adaptive*
4. Metode *slicing* dengan perhitungan kontur yang tepat

Model *slicing* ketebalan *layer* seragam dimana semua *layer* memiliki ketebalan yang sama sedangkan metode *slicing* ketebalan *layer adaptive*, ketebalan *layer* bervariasi menurut kompleksitas geometri. Proses pembuatan

lintasan pada saat slicing dapat mempengaruhi kualitas permukaan, kekuatan, kekakuan, dan waktu pembuatan produk.

Penelitian ini menggunakan salah satu program *slicing open source* yaitu CURA. Program CURA adalah program *slicing* yang dapat diunduh secara gratis (ultimaker.com) yang berguna untuk melakukan pengaturan pada proses *slicing* dan perubahan menjadi kode *g-code*. CURA pada pengaturannya berdasarkan pada pengaturan dari pengguna sebagai perintah *G-code* yang akan dijalankan oleh printer. CURA dapat diakses baik sebagai program yang berdiri sendiri atau disematkan pada program lain (host) seperti pada *Repetier-Host* yaitu *pronterface*.

### 2.2.3 *Acrilonitrile Butadiene Styrene (ABS)*

Teknologi 3D Printing FFA(*Fused Filament Fabrication*) merupakan teknologi 3D Printer yang menggunakan material plastik (polimer). Banyak jenis plastik yang digunakan. 3D Printer juga tidak lepas dari banyak pilihan plastik yang mengikuti fungsi dan tujuan dari hasil 3D print tersebut. Berdasarkan bahan baku polimer yang tersedia sebagai *fillament* 3D print yang digunakan adalah polimer jenis termoplastik. Polimer termoplastik adalah polimer yang mempunyai sifat tidak tahan terhadap panas. Jika polimer jenis ini dipanaskan, maka akan menjadi lunak dan didinginkan akan mengeras. Proses tersebut dapat terjadi berulang kali, sehingga dapat dibentuk ulang dalam berbagai bentuk melalui cetakan yang berbeda untuk mendapatkan produk polimer yang baru. Jenis plastik ini tidak memiliki ikatan silang antar rantai polimernya, melainkan dengan struktur molekul linear atau bercabang.

*Acrilonitrile Butadiene Styrene* adalah termoplastik yang termasuk kedalam kelompok *polystyrene* dengan kekuatan yang tinggi. ABS ialah hasil dari *polimerisasi Styrene* dan *Acrilonitrile* di dalam *polybutadiene*. *Acrilonitrile* adalah monomer sintesis yang dihasilkan dari *propylene* dan ammonia, *butadiene* adalah minyak hidrokarbon yang diperoleh dari fraksi C4 uap *cracking*, dan *styrene* monomer dibuat oleh dehidrogenasi dari *etil benzene hidrokarbon* yang diperoleh dalam reaksi *etilen* dan *benzene*. Proporsinya bias bermacam-macam dari 15% sampai 35% *acrylonitrile*, 5% sampai 30% *butadiene* dan 40% sampai 60%

*styrene*. Sifat mekanis yang dimiliki pada plastik ABS ditandai dengan ketahanannya yang tinggi, ketahanan terhadap guncangan, kekuatan lentur, dan permukaan yang keras. Plastik ini masuk ke dalam kelompok yang mempunyai kemampuan untuk membentuk properti yang bermacam-macam dengan mengubah proporsi dari monomer tersebut, yang dapat menghasilkan keuntungan. Aplikasi ABS adalah polimer organik pembentuk plastik yang cukup mempunyai kekuatan dengan harga yang relatif rendah. Beratnya yang ringan dan kemampuan untuk dibentuk dan diekstrusi membuatnya berguna dalam produk manufaktur seperti saluran limbah lubang AGD sistem pipa, alat musik, komponen otomotif, pelindung alat elektronik seperti speaker, peralatan medis untuk akses darah, peralatan dapur sampai dengan mainan anak – anak yakni Lego. Rumah tangga dan barang – barang industri konsumen adalah konsumen utama dari *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)*.

Secara umum ABS memiliki karakteristik sebagai berikut, dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Data Sheet Karakteristik Filament ABS  
(Quadrant Engineering Plastic Products, 2007)

<i>Flexural Strength</i>	50 – 60	Mpa
<i>Notched Impact Strength</i>	10 – 20	Kj/m <sup>2</sup>
<i>Thermal Coefficient Of Expansion</i>	70 – 90	x 10 <sup>-6</sup>
<i>Max Cont Use Temp</i>	80 – 95	°C
<i>Density</i>	1.0 - 1.05	g/cm <sup>3</sup>

### 2.3 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah chip yang berfungsi sebagai pengontrol atau pengendali rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan program didalamnya. Penggunaan mikrokontroler lebih menguntungkan dibandingkan penggunaan mikroprosesor. Hal ini dikarenakan dengan mikrokontroler tidak perlu lagi penambahan memori dan I/O eksternal selama memori dan I/O internal

masih bisa mencukupi. Selain itu proses produksinya secara masal, sehingga harganya menjadi lebih murah dibandingkan mikroprosesor. Pada sebuah chip mikrokontroler umumnya memiliki fitur-fitur sebagai berikut:

1. *Central processing* unit mulai dari processor 4-bit yang sederhana hingga processor kinerja tinggi 64-bit.
2. Input/output antarmuka jaringan seperti *serial port* (UART).
3. Antarmuka komunikasi serial lain seperti IC, *serial peripheral interface* and *controller area network* untuk sambungan sistem.
4. *Periferal* seperti *timer* dan *watchdog*.
5. RAM untuk menyimpan data.
6. ROM, EPROM, EEPROM atau *flash memory* untuk menyimpan program dikomputer.
7. Pembangkit *clock* biasanya berupa resonator rangkaian RC.
8. Pengubah analog ke digital.

Secara teknis, hanya ada 2 macam mikrokontroler. Pembagian ini didasarkan pada kompleksitas instruksi-instruksi yang dapat diterapkan pada mikrokontroler tersebut. Pembagian itu yaitu RISC dan CISC :

- RISC merupakan kependekan dari *Reduced Instruction Set Computer*. Instruksi yang dimiliki terbatas, tetapi memiliki fasilitas yang lebih banyak.
- CISC kependekan dari *Complex Instruction Set Computer*. Instruksi bisa dikatakan lebih lengkap tapi dengan fasilitas secukupnya.

Masing-masing mempunyai keturunan atau keluarga sendiri-sendiri. jenis-jenis mikrokonktroler yang telah umum digunakan:

#### 1. Keluarga MCS51

Mikrokonktroler ini termasuk dalam keluarga mikrokonktroler CISC. Sebagian besar instruksinya dieksekusi dalam 12 siklus clock. Mikrokontroler ini berdasarkan arsitektur Harvard dan meskipun awalnya dirancang untuk aplikasi mikrokontroler chip tunggal, sebuah mode perluasan telah mengizinkan sebuah ROM luar 64KB dan RAM luar 64KB diberikan alamat dengan cara jalur pemilihan chip yang terpisah untuk akses program dan memori data.



Salah satu kemampuan dari mikrokontroler 8051 adalah pemasangan sebuah mesin pemroses boolean yang mengijikan operasi logika boolean tingkatan-bit dapat dilakukan secara langsung dan secara efisien dalam register internal dan RAM. Karena itulah MCS51 digunakan dalam rancangan awal PLC (*programmable Logic Control*).

## 2. PIC (*Programmable Interface Controller*)

Pada awalnya, PIC merupakan kependekan dari *Programmable Interface Controller*. Tetapi pada perkembangannya berubah menjadi *Programmable Intelligent Computer*.

PIC termasuk keluarga mikrokontroler berarsitektur Harvard yang dibuat oleh *Microchip Technology*. Awalnya dikembangkan oleh Divisi Mikroelektronik General *Instruments* dengan nama PIC1640. Sekarang *Microhip* telah mengumumkan pembuatan PIC-nya yang keenam. PIC cukup populer digunakan oleh para *developer* dan para penghobi ngoprek karena biayanya yang rendah, ketersediaan dan penggunaan yang luas, database aplikasi yang besar, serta pemrograman (dan pemrograman ulang) melalui hubungan serial pada komputer.

## 3. AVR (*Alv and Vegard's Risc processor*)

Mikrokontroler *Alv and Vegard's Risc processor* atau sering disingkat AVR merupakan mikrokontroler RISC 8 bit. Karena RISC inilah sebagian besar kode instruksinya dikemas dalam satu siklus clock. AVR adalah jenis mikrokontroler yang paling sering dipakai dalam bidang elektronika dan instrumentasi.

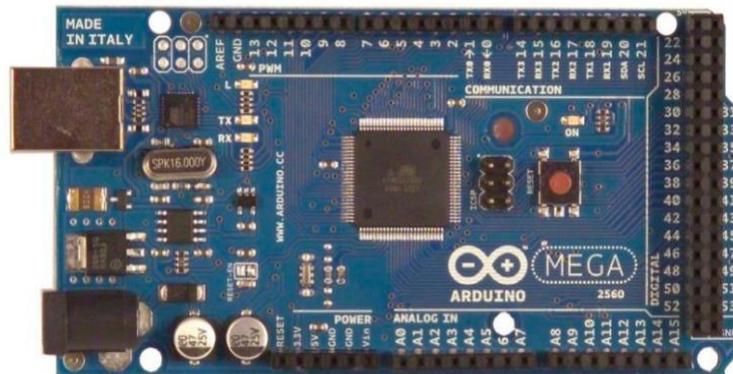
## 2.4 Mikrokontroler Arduino Mega 2560

### 2.4.1 Pengertian Arduino

Arduino adalah board berbasis mikrokontroler atau papan rangkaian elektronik open source yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Mikrokontroler itu sendiri adalah chip atau IC (*integrated circuit*) yang bisa diprogram menggunakan computer. Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memproses input tersebut dan

kemudian menghasilkan output sesuai yang diinginkan. Jadi mikrokontroler bertugas sebagai otak yang mengendalikan proses input, dan output sebuah rangkaian elektronik.

Pada gambar 2.4 merupakan jenis Arduino Mega tipe 2560, Arduino Mega 2560 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis Arduino dengan menggunakan chip ATmega2560. Board ini memiliki pin I/O yang cukup banyak, sejumlah 54 buah digital I/O pin (15 pin diantaranya adalah PWM), 16 pin analog input, 4 pin UART (*serial port hardware*). Arduino Mega 2560 dilengkapi dengan sebuah oscillator 16 Mhz, sebuah port USB, power jack DC, ICSP header, dan tombol reset. *Board* ini sudah sangat lengkap, sudah memiliki segala sesuatu yang dibutuhkan untuk sebuah mikrokontroler. Dengan penggunaan yang cukup sederhana, anda tinggal menghubungkan power dari USB ke PC anda atau melalui adaptor AC/DC ke jack DC.



Gambar 2.4 Arduino mega 2560  
(Sumber : ArduinoMega2560Datasheet.pdf)

### 2.4.2 Spesifikasi Arduino Mega 2560

Tabel 2.2 Spesifikasi *Arduino Mega 2560*  
(Arduinomega/datasheet.pdf,2017)

Keterangan	Spesifikasi
Chip Mikrokontroler	ATmega2560
Tegangan Operasi	5V
Tegangan Input (yang direkomendasikan , via jack DC)	7V – 12V
Tegangan Input (limit, via jack DC)	6V – 20V



Digital I/O	54 buah, diantaranya menyediakan PWM
Analog Input Pin	16 buah
Arus DC per pin I/O	20 Ma
Arus DC pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	256KB, 8KB telah digunakan untuk bootloader
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Clock Speed	16Mhz
Dimensi	101,5 mm x 53,4 mm
Berat	37g

### 2.4.3 Memory

ATmega2560 memiliki 256 KB dari memori flash untuk menyimpan kode (8 KB digunakan untuk *bootloader*), 8 KB dari SRAM dan 4 KB EEPROM (yang dapat dibaca dan ditulis dengan perpustakaan EEPROM).

### 2.4.4 Input & Output

Masing-masing dari 54 pin digital pada Mega dapat digunakan sebagai input atau output, menggunakan `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()` fungsi. Mereka beroperasi di 5 volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki resistor pull-up internal yang (terputus secara *default*) dari 20-50 KOhms. Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus: Serial: 0 (RX) dan 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) dan 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) dan 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) dan 14 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirimkan data serial (TX) TTL. Pin 0 dan 1 juga terhubung ke pin dari ATmega8U2 USB-to-TTL Chip Serial.

1. Interupsi Eksternal: 2 (menggangu 0), 3 (menggangu 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), dan 21 (interrupt 2). Pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu interupsi pada nilai yang rendah, tepi naik atau jatuh, atau perubahan nilai. Lihat `attachInterrupt()` fungsi untuk rincian.
2. PWM: 0 13. Memberikan output PWM 8-bit dengan fungsi `analogWrite()`.

3. SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan perpustakaan SPI. Pin SPI juga pecah pada header ICSP, yang secara fisik kompatibel dengan Uno, *Duemilanove* dan *Diecimila*.
4. LED: 13. Ada built-in LED terhubung ke pin digital 13. Ketika pin tinggi nilai, LED menyala, ketika pin rendah, itu off.
5. I2C: 20 (SDA) dan 21 (SCL). Dukungan I2C (TWI) komunikasi menggunakan perpustakaan Kawat (dokumentasi di website Wiring). Perhatikan bahwa pin ini tidak di lokasi yang sama dengan pin I2C pada *Duemilanove* atau *Diecimila*.

Arduino Mega 2560 memiliki 16 input analog, yang masing-masing menyediakan 10 bit resolusi (yaitu 1024 nilai yang berbeda). Secara default mereka mengukur dari tanah ke 5 volt, meskipun adalah mungkin untuk mengubah batas atas dari kisaran mereka menggunakan pin AREF dan fungsi `analogReference()`. Ada beberapa pin lainnya di papan:

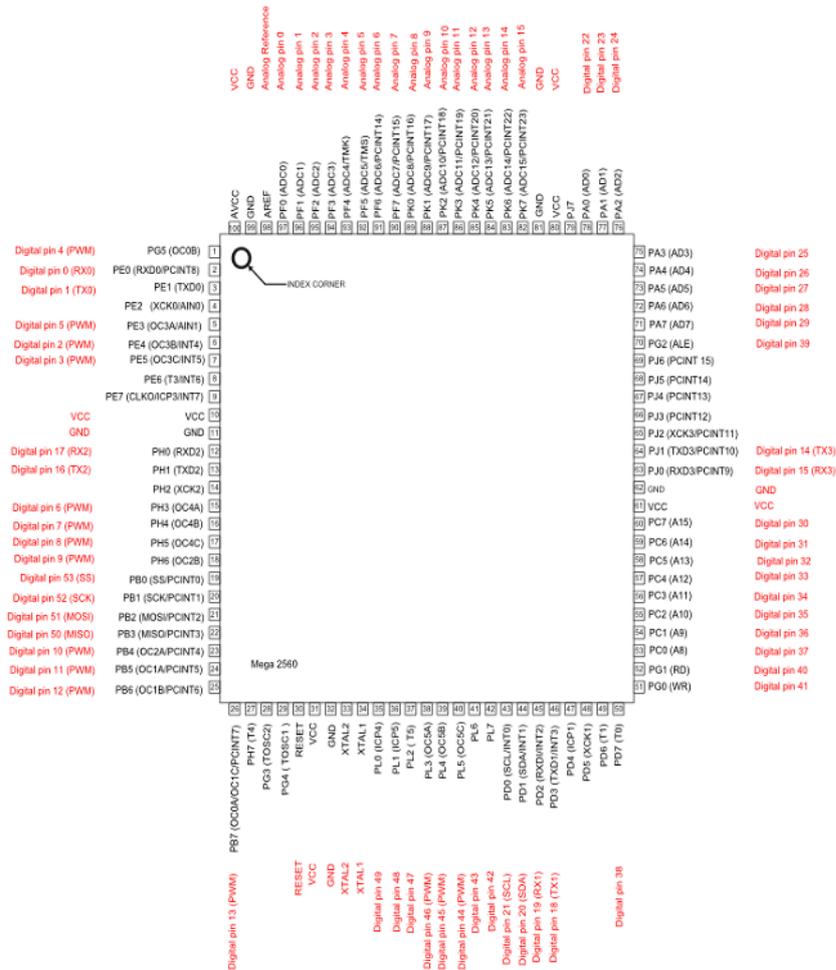
1. AREF. Tegangan referensi untuk input analog. Digunakan dengan `analogReference()`.
2. RESET. Bawa garis LOW ini untuk me-reset mikrokontroler. Biasanya digunakan untuk menambahkan tombol reset untuk perisai yang menghalangi satu di papan tulis.

#### 2.4.5 Komunikasi

Arduino Mega2560 memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lainnya. ATmega2560 menyediakan empat UART *hardware* untuk TTL (5V) komunikasi serial. Sebuah ATmega8U2 pada saluran salah satu papan atas USB dan menyediakan port com virtual untuk perangkat lunak pada komputer (mesin Windows akan membutuhkan file .inf, tapi OSX dan Linux mesin akan mengenali papan sebagai port COM secara otomatis).

Perangkat lunak Arduino termasuk monitor serial yang memungkinkan data tekstual sederhana yang akan dikirim ke dan dari papan. The RX dan TX

LED di papan akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui ATmega8U2 Chip dan USB koneksi ke komputer (tapi tidak untuk komunikasi serial pada pin 0 dan 1). Berikut pada gambar 2.5 adalah pemetaan pin ATmega 2560.



Gambar 2.5 Atmega 2560  
(Sumber : <http://forum.arduino.cc/index>.)

Sebuah perpustakaan Software Serial memungkinkan untuk komunikasi serial pada setiap pin digital Mega2560 ini. ATmega 2560 juga mendukung I2C (TWI) dan komunikasi SPI. Perangkat lunak Arduino termasuk perpustakaan Kawat untuk menyederhanakan penggunaan bus I2C; lihat dokumentasi di website Wiring untuk rincian. Untuk komunikasi SPI, menggunakan perpustakaan SPI.

## 2.5 Motor Stepper

Motor *stepper* adalah salah satu jenis motor dc yang dikendalikan dengan pulsa-pulsa digital. Prinsip kerja motor stepper adalah bekerja dengan mengubah pulsa elektronis menjadi gerakan mekanis diskrit dimana motor stepper bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor stepper tersebut. Kelebihan Motor *Stepper* Kelebihan motor *stepper* dibandingkan dengan motor DC biasa adalah :

1. Sudut rotasi motor proporsional dengan pulsa masukan sehingga lebih mudah diatur
2. Motor dapat langsung memberikan torsi penuh pada saat mulai bergerak
3. Posisi dan pergerakan repetisinya dapat ditentukan secara presisi
4. Memiliki respon yang sangat baik terhadap mulai, stop dan berbalik (perputaran)
5. Sangat realibel karena tidak adanya sikat yang bersentuhan dengan rotor seperti pada motor DC
6. Dapat menghasilkan perputaran yang lambat sehingga beban dapat dikopel langsung ke porosnya
7. Frekuensi perputaran dapat ditentukan secara bebas dan mudah pada range yang luas.

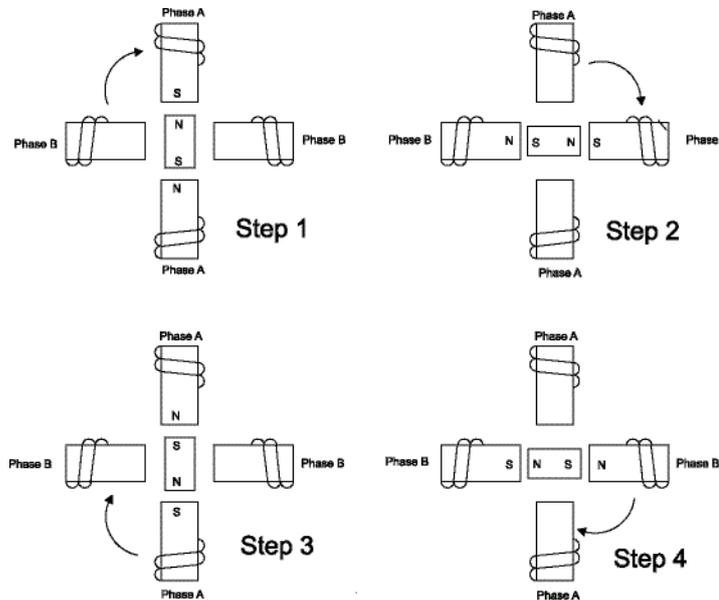
### 2.5.1 Prinsip Kerja Motor Stepper

Prinsip kerja motor *stepper* adalah mengubah pulsa-pulsa input menjadi gerakan mekanis diskrit. Oleh karena itu untuk menggerakkan motor *stepper* diperlukan pengendali motor *stepper* yang membangkitkan pulsa-pulsa periodik. Prinsip kerja motor *stepper* mirip dengan motor DC, sama-sama dicatu dengan tegangan DC untuk memperoleh medan magnet. Bila motor DC memiliki magnet tetap pada stator, motor *stepper* mempunyai magnet tetap pada rotor. Motor *stepper* dinyatakan dengan spesifikasi : “berapa phasa “, “berapa derajat perstep”, “berapa volt tegangan catu untuk tiap lilitan” dan ”berapa ampere/miliampere arus yang dibutuhkan untuk tiap lilitan”. Motor *stepper* tidak dapat bergerak sendirinya, tetapi bergerak secara per step sesuai dengan spesifikasinya, dan



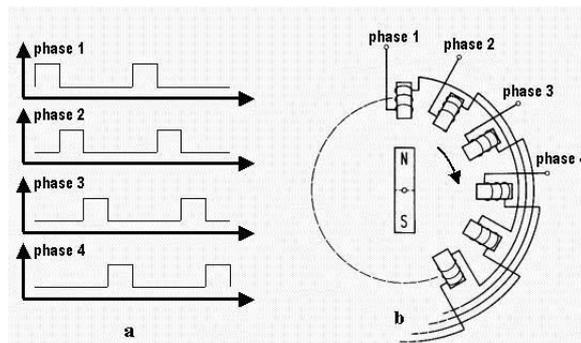
bergerak dari satu step ke step berikutnya memerlukan waktu, serta menghasilkan torsi yang besar pada kecepatan rendah. Motor *stepper* juga memiliki karakteristik yang lain yaitu torsi penahan, yang memungkinkan menahan posisinya. Hal ini sangat berguna untuk aplikasi dimana suatu sistem memerlukan keadaan start dan stop.

Torsi motor *stepper* tidak sebesar motor DC, namun motor ini mempunyai tingkat presisi yang sangat tinggi dalam gerakannya. Kecepatan gerak motor ini dinyatakan dalam step per second atau jumlah step gerakan dalam setiap detiknya. Cara kerja motor *stepper* didasari dengan prinsip magnet dasar, seperti kutub magnet yaitu sebagai berikut : Jika lilitan stator pada gambar 1 (a) diberi energi maka lilitan stator A adalah kutub selatan, stator B adalah kutub utara, dan rotor permanent magnet (PM) diposisikan seperti pada gambar, maka torsi motor akan bertambah seiring pergerakan rotor ke sudut 180°. Maka hal tersebut akan menjadi tidak mungkin untuk menentukan arah dari putaran dan dalam rotor tidak akan bergerak seperti yang telah dikatakan tadi jika gayanya stabil. Jika yang terjadi seperti dalam gambar 1 (b), dua kutub stator tambahan C dan D dipasang dan diberi energi seperti terlihat dalam gambar, kita bisa memprediksi arah dari putaran rotor. Seperti dalam gambar 1(b) arah putaran rotor akan konstan searah jarum jam dengan rotor sejajar dengannya antara "rata-rata" kutub selatan dan "rata-rata" kutub utara. Seperti pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Cara Kerja motor stepper yang didasari dari prinsip magnet dasar  
(Sumber : <https://www.keretalistrik.com>)

Berikut ini merupakan gambar 2.7, ilustrasi struktur motor *stepper* sederhana dan pulsa yang dibutuhkan untuk menggerakkannya :



Gambar 2.7 Cara Kerja motor stepper  
(Sumber : <https://www.zonaelektro.net>)

Gambar diatas memberikan ilustrasi dari pulsa keluaran pengendali motor stepper dan penerpan pulsa tersebut pada motor stepper untuk menghasilkan arah putaran yang bersesuaian dengan pulsa kendali.

Motor *stepper* adalah perangkat elektromekanis yang bekerja dengan mengubah pulsa elektronis menjadi gerakan mekanis diskrit. Motor *stepper*

bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor. Karena itu, untuk menggerakkan motor *stepper* diperlukan pengendali motor *stepper* yang membangkitkan pulsa-pulsa periodik. Penggunaan motor *stepper* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan penggunaan motor DC biasa.

Motor *stepper* merupakan motor DC yang tidak mempunyai komutator. Umumnya motor *stepper* hanya mempunyai kumparan pada bagian stator sedangkan pada bagian rotor merupakan magnet permanen (*bahan ferromagnetic*). Karena konstruksi inilah maka motor *stepper* dapat diatur posisinya pada posisi tertentu dan/atau berputar ke arah yang diinginkan, apakah searah jarum jam atau sebaliknya. Ada tiga jenis motor *stepper*, motor *stepper Magnet Permanen*, *Variable Reluctance* dan *Hybrid*. Semua jenis tersebut melakukan fungsi dasar yang sama, tetapi mempunyai perbedaan penting pada beberapa aplikasi. Gambar 2.8 merupakan gambar sebuah motor *stepper*.



Gambar 2.8 *Motor Stepper*  
(Sumber : <https://www.kitapunya.net/2015/03/>)

Motor *stepper* dapat berputar atau berotasi dengan sudut step yang bisa bervariasi tergantung motor yang digunakan. Ukuran step (*step size*) dapat berada pada range aplikasi atau kebutuhan yang diinginkan. Posisi putarannya pun relatif eksak dan stabil. Dengan adanya variasi sudut step tersebut akan lebih memudahkan untuk melakukan pengontrolan serta pengontrolannya dapat langsung menggunakan sinyal digital tanpa perlu menggunakan rangkaian *closed-loop feedback* untuk memonitor posisinya. Dengan alasan inilah maka motor *stepper* banyak digunakan sebagai *actuator* yang menerapkan rangkaian

digital sebagai pengontrol/ *driver* , ataupun untuk *interfacing* ke piranti yang berbasis mikroprosesor/mikrokontroler.

Motor *stepper* mempunyai dua mode operasi yaitu *single step* mode dan *slew mode*. Pada *single step mode* atau disebut juga *bidirectional mode*, frekuensi step cukup lambat untuk memperbolehkan rotor (hampir semua) berhenti di antara step. Pada setiap step, motor meneruskan sudut tertentu dan kemudian berhenti. Jika motor bebannya kecil, *overshoot* (lonjakan) dan osilasi dapat terjadi pada akhir setiap step.

## 2.6 Driver Motor A4988

### 2.6.1 Pengertian Driver Motor A4988

Driver Motor Stepper A4988 adalah modul penggerak yang digunakan untuk mengendalikan motor stepper bipolar dengan tipe *step* resolusi yaitu, *full-step*, *half-step*, *quarter-step*, *eighth-step*, dan *sixteenth-step*. Driver A4988 memungkinkan untuk melakukan *microstepping* sehingga didapatkan resolusi lebih tinggi. Sebagai contoh, apabila menggerakkan motor stepper yang memiliki nilai per-*step*  $1,8^\circ$  atau 200 langkah per-revolusi dalam tipe *quarter-step*, motor akan memberikan 800 *microstepping* per-revolusi.

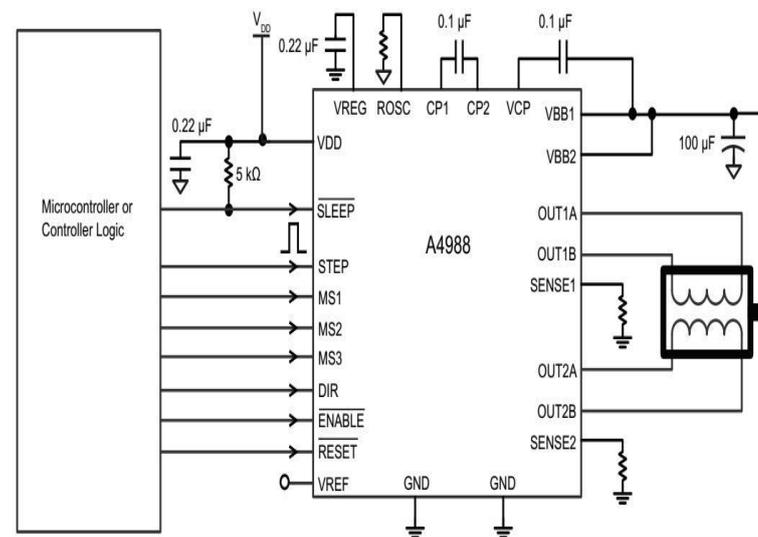
Driver motor stepper A4988 memerlukan suplai tegangan sebesar 3 - 5.5 V yang dihubungkan pada pin VDD dan GND. Tegangan suplai motor yang diperlukan sebesar 8 – 35 V yang dihubungkan pada pin VMOT dan GND. Arus maksimum yang mengalir pada Driver motor stepper A4988 ini sebesar 2 A. Untuk melindungi Driver motor stepper A4988 dari lonjakan tegangan, diperlukan kapasitor minimal 47  $\mu\text{F}$ .

A4988 adalah driver *microstepping*. *Motor driver* ini dilengkapi dengan *built in translator* untuk memudahkan pengoperasian motor. Hal ini dirancang untuk pengoperasian *stepper motor* tipe bipolar pada saat penuh, setengah, seperempat, seperdelapan, dan seperenambelas dengan kapasitas drive output hingga 35 V dan  $\pm 2$  A. A4988 termasuk arus rendah yang memiliki kemampuan untuk beroperasi di saat cepat ataupun lambatnya mengaktifkan motor. Gambar 2.9 merupakan gambar dari *Driver Motor* A4988.



Gambar 2.9 *Driver Motor A4988*  
(Sumber : <http://eprints.polsri.ac.id/>)

Translator adalah kunci untuk memudahkan pengoperasian A4988. Cukup memasukkan satu pulsa pada input driver motor maka motor bergerak satu *microstep*. *Interface* A4988 adalah pilihan yang sesuai untuk aplikasi di mana mikroprosesor kompleks tidak tersedia atau terbebani. Gambar di bawah ini merupakan Aplikasi diagram *driver motor pololu A4988* yang di sambungkan dengan *microcontroller*.



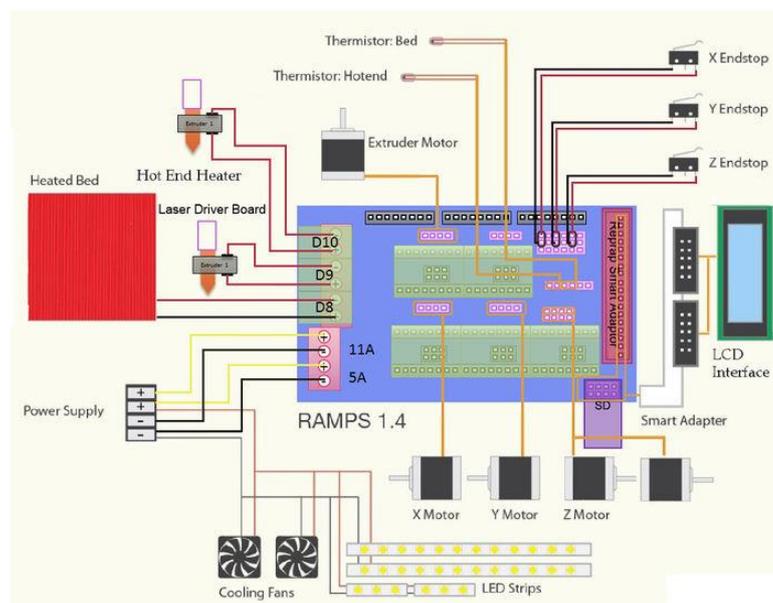
Gambar 2.10 Aplikasi diagram *driver motor A4988*

(Sumber : [pololuA4988datasheet.pdf](#))

## 2.7 Ramps 1.4

Ramps 1.4 adalah modul elektronik yang paling banyak digunakan untuk mesin RepRap pada Maret 2014. Modul ini terdiri dari perisai Ramps 1.4,

Arduino mega 2560 papan (atau tiruan), dan maksimal lima driver Motor Stepper. Hal ini dapat mengontrol hingga 5 motor stepper dengan 1/16 melangkah presisi dan interface dengan *hotend*, sebuah *heatbed*, kipas angin (atau *hotend* kedua), *LCD controller*, 12V (atau 24V dengan modifikasi sesuai) *power supply*, hingga tiga *thermistor*, dan sampai enam *stopper* (pemberhenti). Di bawah ini merupakan gambar skematik dari modul Ramps 1.4



Gambar 2.11 Skematik modul Ramps 1.4

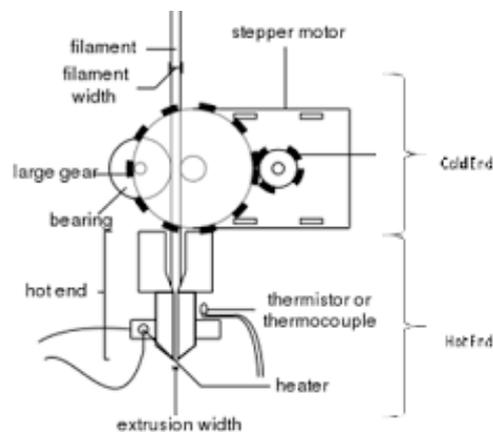
(sumber : <http://www.reprap.org> )

## 2.8 *Extruder*

*Extruder* adalah komponen yang sangat penting pada alat cetak tiga dimensi karena berfungsi untuk memanaskan dan memotong *filament* pada alat cetak tiga dimensi berbahan acrylic. *Extruder* terdiri dari beberapa komponen penting yaitu Stepper motor, thermistor, heater, fan dan nozzle. Di bawah ini merupakan gambar *extruder* yang digunakan pada alat pencetak akrilik tiga dimensi

Gambar 2.12 *Extruder*(sumber : [3dprinterprices.net](http://3dprinterprices.net))

*Extruder* diletakkan di bagian tengah alat pencetak akrilik tiga dimensi. Dibutuhkan filamen diameter 3mm dari polimer (dengan sepasang kabel supply 12V), filament akan turun dan dipanaskan, dan kemudian lelehan filament keluar dari nozzle sesuai dengan perintah dari perangkat lunak, sehingga aliran tipis ditetapkan dalam lapisan untuk membentuk bagian-bagian yang alat ini butuhkan. Extruder harus bekerja sampai suhu 250° Celcius.



Gambar 2.13 Skematik Extruder

(sumber: [id.carousell.com](http://id.carousell.com))

*Extruder* diletakkan di bagian tengah alat pencetak akrilik tiga dimensi. Dibutuhkan filamen diameter biasanya 3mm, memaksa turun barel dipanaskan, dan kemudian extrudes sebagai lelehan keluar dari nozzle baik. sehingga aliran tipis ditetapkan dalam lapisan untuk membentuk bagian-bagian yang alat ini

butuhkan. Extruder harus bekerja sampai suhu 250 o Celcius. Untuk melakukan ekstruksi pada filament , Stepper motor diaktifkan memaksa bahan baku (biasanya 1.75mm atau 3mm diameter filamen ) ke dalam hot end . Filament(bahan baku) yang telah di panaskan , kemudian menuju " *Heater* " dan keluar dari *nozzle* pada kecepatan yang wajar. Bahan diekstrusi jatuh ke *platform (heated bed)* dan kemudian lapis demi lapis ke bagian seperti yang dibangun.

Ekstrusi dalam pencetakan alat ini menggunakan bahan ekstrusi yang melibatkan " *Cold End* " dan " *Hot End* ". *Cold End* merupakan bagian dari sistem ekstruder yang menarik dan memberi bahan dari *spool* , dan mendorong ke arah *Hot End*. Ujung dingin sebagian besar peralatan-atau roller berbasis memasok torsi untuk materi dan mengendalikan laju umpan dengan cara stepper motor . Dengan ini berarti tingkat proses dikendalikan.

## 2.9 *Fillament ABS*

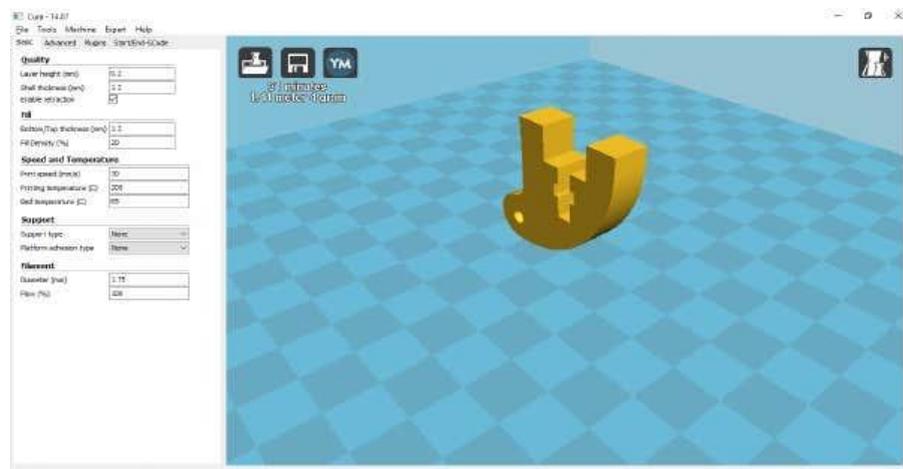
*Fillament* merupakan bahan baku utama untuk proses pencetakan benda dari alat 3D Printer. *Fillament* memiliki beberapa jenis bahan dasar seperti PLA(*Poly Lactic Acid*) dan ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene Fillament*) yang diekstrusi mengacu pada plastik berdiameter kecil yang akan dikeluarkan dari *extruder* dan merupakan hal terpenting pada mesin 3D Printer yang digunakan untuk membuat model plastik. Diameter *fillament* bervariasi antara 0.5 mm sampai 2 mm, tetapi pada umumnya menggunakan ukuran 1,75 mm.



Gambar 2.14 *Fillament ABS*  
(sumber: materhacker.com)

## 2.10 Cura

*Cura* adalah *software* yang diciptakan oleh David Braam lalu dikembangkan oleh Ultimaker. Kegunaan *software* ini untuk mengonversi data CAD seperti .stl dan .obj menjadi petunjuk pencetakan untuk 3D printer dengan memotong model menjadi irisan horisontal (lapisan), menghasilkan *toolpath* untuk mengisi dan menghitung jumlah *fillament* yang akan diekstrusi. *Software* ini dapat membaca STL, AMF dan OBJ file, sedangkan untuk hasil konversinya yaitu G-kode atau SVG file.



Gambar 2.15. Aplikasi Cura  
(Sumber: <http://cura.com>)

## 2.11 DVD ROM/ CD ROM

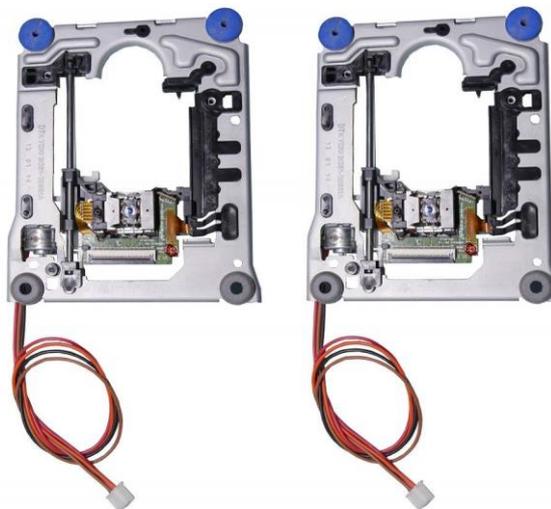
### Pengertian CD ROM

CD ROM atau compact disc read-only memory adalah sebuah perangkat keras pada komputer yang berbentuk balok yang berfungsi untuk membaca data dari CD. CD-ROM juga berarti bahwa CD-ROM drive yang mana hanya bisa digunakan untuk membaca sebuah CD saja. Secara garis besar CD-ROM dibedakan menjadi 2 menurut tipenya yaitu : ATA/IDE dan SCSI.

CD ROM berfungsi untuk membaca data CD dan melakukan burning data ke CD, artinya dengan menggunakan CD ROM kita bisa menyimpan data ke dalam piringan CD (burning) atau menampilkan data dari CD. Perbedaan CD-R dan CD-RW, CD ROM memiliki 2 jenis yaitu CD-R dan CD-RW. tiap jenis dari masing-masing CD ROM tersebut mempunyai kemampuan yang berbeda. CD-R

hanya memiliki kemampuan untuk membaca data dari CD saja sedangkan CD-RW memiliki kemampuan membaca kepingan cd dan juga mampu menulis di kepingan cd, yang perlu kita ketahui juga bahwa CD RW Drive menggunakan sinar laser merah untuk menulis informasi dari komputer ke merekam discs, baik CD R discs, yang tidak dapat dihapus, atau CD RW discs, yang dapat terhapus dan tercatat sekitar 1000 kali. CD RW drive yang digunakan untuk membuat CD audio, yang dapat diputar di hampir semua player, atau data discs, yang berguna untuk membuat cadangan atau mentransfer file.

DVD berasal dari kata Digital Versatile Disc. DVD sendiri hampir sama dengan CD ROM, akan tetapi DVD memiliki kemampuan yang lebih baik dibandingkan dengan CD. DVD ROM dapat memainkan piringan dari DVD yang memiliki kapasitas penyimpanan yang lebih besar dan lebih baik dibandingkan dengan kepingan CD. Kepingan DVD biasanya memiliki kapasitas penyimpanan sekitar 4 GB.



Gambar 2.16 DVD ROM/CD ROM  
(sumber: amazon.com)