



**RANCANG BANGUN PROTOTIPE CNC MACHINE PENGENALAN DAN
PENGAMBARAN POLA BERBASIS MIKROKONTROLLER**

Disusun dan Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Akhir Memperoleh
Gelar Sarjana Komputer pada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Pembangunan Panca Budi
Medan

SKRIPSI

OLEH

NAMA : BINDU WAQLAH SUTI
NPM : 1724371017
PROGRAM STUDI : SISTEM KOMPUTER

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI
MEDAN
2019**

ABSTRAK

Mesin CNC (*Computer Numerical Control*) merupakan mesin yang dikontrol dengan menggunakan bahas numerik, sehingga mesin dapat bekerja lebih presisi. Penulis membangun sebuah mesin CNC mini dengan menggunakan motor mekanik yang di daur ulang dari drive DVD bekas. Menggunakan mikrokontroler Arduino Uno ATMEGA328, mesin ini nantinya digunakan untuk menggambar desain PCB (*Printed Circuit Board*). Desain PCB yang akan dibuat terlebih dahulu dikonversi menjadi format gcode dengan menggunakan aplikasi Inkscape sebelum dapat dijalankan oleh mesin mini CNC.

Kata kunci ; Mesin CNC mini, Arduino, PCB.

ABSTRACT

CNC (Computer Numerical Control) machine is a machine that is controlled by using numeric language, so that the machine can work more precisely. The author built a mini CNC machine using a mechanical motor that was recycled from used DVD drives. Using the Arduino Uno ATMEGA328 microcontroller, this machine will be used to draw PCB (Printed Circuit Board) designs. The PCB design that will be created first is converted to a gcode format using the Inkscape application before it can be run by a mini CNC machine.

Keywords ; Mini CNC machines, Arduino, PCB.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penulisan	3
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Manfaat Penulisan	4
1.7 Sistematika Penelitian	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Arduino	5
2.2 Mesin CNC	7
2.3 PCB (<i>Printed Circuit Board</i>)	9
2.3.1 Substrat (Lapisan Landasan)	10
2.3.2 Tembaga (Copper)	10
2.3.3 Soldermask	10
2.3.4 Silkscreen	11
2.4 Processing	11
2.5 Hubungan Arduino dan Processing	12
2.5.1 Jenis-jenis Arduino	13
2.6 Motor <i>Stepper</i>	15
2.6.1 Karakteristik Motor <i>Stepper</i>	17
2.6.2 Jenis Motor <i>Stepper</i>	18
2.7 IC ULN 2003	19
2.8 Resistor	20
2.8.1 Identifikasi Empat Pita	20
2.8.2 Identifikasi Lima Pita	22
2.9 LED (<i>Light Emitting Diode</i>)	23
2.9.1 Cara Kerja LED (<i>Light Emitting Diode</i>).....	24
2.10 Motor Servo	25
2.11 Kerangka Pemikiran	26
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Tahapan Penelitian	28

3.2 Penelitian Terkait	28
3.3 <i>Mini CNC Drawing Machine</i>	31
3.4 Pengumpulan Data	31
3.5 Sumber Data Penelitian	32
3.6 Bahan dan Alat	33
3.7 Alat Pendukung	34
3.8 Proses Pembuatan Produk	38
3.9 Prosedur Pembuatan Produk	38
3.10 Flowchart Program	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Perancangan Mesin	40
4.2 Rancangan Program	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	60

DAFTAR GAMBAR

	Halaman	
Gambar 2.1	Tampilan depan dari <i>Arduino Uno R3</i>	7
Gambar 2.2	Tampilan belakang dari <i>Arduino Uno R3</i>	7
Gambar 2.3	Struktur dan komposisi standar PCB	9
Gambar 2.4	Sketsa <i>Processing</i>	12
Gambar 2.5	Bagian dalam motor stepper	16
Gambar 2.6	Diagram Motor Stepper 4 Wire	18
Gambar 2.7	Rangkaian <i>Darlington IC ULN2003</i>	19
Gambar 2.8	Bentuk <i>IC ULN2003</i>	19
Gambar 2.9	Transistor <i>Darlington</i> dalam IC <i>ULN2003</i>	20
Gambar 2.10	Resistor	23
Gambar 2.11	<i>LED</i>	24
Gambar 2.12	Inti <i>LED Anoda</i> dan <i>Katoda</i>	24
Gambar 2.13	Motor Servo	26
Gambar 3.1	Tahap Metode Penelitian	29
Gambar 3.2	Bor Tangan	34
Gambar 3.3	Penggaris Siku	35
Gambar 3.4	Tang Potong	35
Gambar 3.5	Glue Gun	36
Gambar 3.6	Solder	36
Gambar 3.7	Akrilik	38
Gambar 3.8	Proses Pembuatan Gambar Pola PCB	38
Gambar 3.9	Flowchart Program	39
Gambar 4.1	Papan Lapis	40
Gambar 4.2	<i>Acrylic</i> yang sudah dibentuk dan dilubangi	40
Gambar 4.3	Mekanik <i>DVD axis “Y”</i>	41
Gambar 4.4	Mekanik <i>DVD axis “X”</i>	42
Gambar 4.5	<i>Bed</i> gambar	42
Gambar 4.6	<i>Motor Stepper</i>	43
Gambar 4.7	<i>Adjustable pen holder</i>	43
Gambar 4.8	<i>Driver</i> motor	44
Gambar 4.9	<i>Board Arduino Uno</i>	45
Gambar 4.10	Konfigurasi motor mekanik sumbu “x” yang diletak di triplek	45
Gambar 4.11	Konfigurasi motor mekanik sumbur “y” yang diletak pada pelat <i>acrylic</i> yang sudah dibentuk	46
Gambar 4.12	Konfigurasi <i>pen holder</i> yang dihubungkan dengan batu pada motor mekanik sumbu “y”	46
Gambar 4.13	Konfigurasi board <i>Arduino Uni</i> terhadap <i>Driver Motor</i>	46
Gambar 4.14	Semua komponen yang sudah di rakit (tampak depan)	47
Gambar 4.15	Semua komponen yang sudah di rakit (tampak belakang)	47

Gambar 4.16	Skema pengkabelan	47
Gambar 4.17	Susunan kabel di driver board	48
Gambar 4.18	Susunan kabel di <i>motor stepper</i> sumbu “y”	48
Gambar 4.19	Susunan kabel di <i>motor stepper</i> sumbu “x”	48
Gambar 4.20	Susunan kabel di motor servo	49
Gambar 4.21	<i>Arduino Software</i>	49
Gambar 4.22	Tampilan <i>coding</i> pada <i>Arduino</i>	50
Gambar 4.23	Tampilan <i>document properties</i> Inkscape	50
Gambar 4.24	Pola PCB (lampu flip flop) yang akan dikonversi	51
Gambar 4.25	Proses Trace Bitmap pada Inkscape	51
Gambar 4.26	Tampilan Properties “ <i>MakerBot unicorn Gcode</i> ”	52
Gambar 4.27	Tampilan <i>software Processing</i>	52
Gambar 4.28	Tampilan <i>coding</i> pada <i>Processing</i>	53
Gambar 4.29	Tampilan <i>G-Code Executer</i>	53
Gambar 4.30	Tampilan <i>Port Arduino</i>	54
Gambar 4.31	Tampilan posisi mesin CNC siap untuk digunakan	54
Gambar 4.32	Tampilan <i>open stream a G-Code file</i>	55
Gambar 4.33	Tampilan <i>stream a G-Code file</i>	55
Gambar 4.34	Tampilan <i>stream G-Code file</i> yang telah selesai	56

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1	Pita Resistor	21
Tabel 3.1	Spesifikasi Laptop yang digunakan	37

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Prototipe mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*) adalah merupakan mesin yang pengendaliannya dilakukan oleh komputer yang menggunakan bahasa numerik sebagai bahasa pemrogramannya. Yang dimaksud bahasa numerik disini adalahh bahasa yang memuat perintah atau arahan dalam bentuk kode angka, huruf dan simbol sesuai dengan standar dari ISO. Perbedaan cara kerja teknologi prototipe mesin CNC dengan perangkat komputer/mekanik lainnya terletak pada sinkronisasi mesinnya, dimana prototipe mesin CNC lebih teliti, lebih tepat, dan lebih fleksibel.

Prototipe mesin CNC dalam pengoperasiannya dikendalikan langsung oleh komputer menggunakan program. Secara keseluruhan konstruksi dan sistem pengoperasian prototipe mesin CNC merupakan sinkronisasi antara program komputer dan mekanik.

Pada perangkat prototipe mesin CNC terdapat motor yang berfungsi menggerakkan objek pada titik-titik tertentu sesuai arahan dari program komputer berdasarkan gambar yang ditentukan/dipilih. Prototipe mesin CNC merupakan sebuah revolusi dalam proses desain, dengan kata lain prototipe mesin CNC merupakan perpaduan mekanik, motor servo, dan komputer digital yang menciptakan sebuah mesin modern bernama prototipe mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*). Prototipe mesin CNC berkaitan erat dengan program

CAD (*Computer Aided Design*). Prototipe mesin CNC dirancang untuk menjawab tuntutan dunia perindustrian modern. Dengan menggunakan prototipe mesin CNC, manufaktur dapat menjamin ketelitian produk hingga akurasi 1/100 mm. Melalui tugas akhir ini, penulis mendesain sebuah prototipe mesin CNC sederhana yang dapat menggambar pola (gambar) sesuai arahan dari komputer secara otomatis.

I.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana cara merancang prototipe mesin CNC sederhana?
2. Bagaimana cara sinkronisasi pengendalian pada dua motor stepper?
3. Bagaimana cara menggerakkan objek pada papan dengan pergerakan pada sumbu Y dan sumbu X?
4. Bagaimana cara mengukur parameter-parameter ketelitian dari prototipe mesin CNC yang dibuat?
5. Bagaimana cara prototipe mesin CNC berbasis mikrokontroler dapat mengenal dan menggambar pola jalur PCB?

I.3. Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas, pembahasan akan difokuskan pada perumusan masalah yang akan dibahas sebagai berikut :

1. Prototipe mesin CNC yang akan dibuat adalah Mini CNC Drawing Machine.
2. Mini CNC Drawing Machine yang dibuat hanya dapat mengenal pola dan menggambar jalur PCB.
3. CNC Machine yang dibuat menggunakan 2-Axis yaitu sumbu X dan sumbu Y.
4. Software yang digunakan untuk memprogram adalah Arduino.
5. Software yang digunakan untuk menjalankan mesin adalah Processing dan G-Code.

I.4. Tujuan Penulisan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mampu merancang sebuah Prototipe Mini CNC Drawing Machine.
2. Mampu memprogram Prototipe Mini CNC Drawing Machine untuk mengenal dan menggambar pola PCB

1.5. Metodologi Penelitian

Dalam kegiatan penelitian ini terdapat beberapa metodologi yang dijadikan acuan, antara lain yakni:

1. Tinjauan Bacaan, mengumpulkan informasi mengenai penelitian terdahulu dari buku, artikel, jurnal sebagai landasan teori dalam pembuatan Prototipe mini CNC Drawing Machine.

2. Perancangan dan implementasi sistem, dimana alat dirancang berdasarkan parameter- parameter yang telah ditentukan untuk dapat dioperasikan.
3. Analisa sistem, upaya menganalisis permasalahan yang muncul pada alat dan software.
4. Konsultasi, konsultasi dilakukan secara berkala dengan dosen pembimbing dan pihak-pihak yang mengerti tentang sistem mekanik dan elektronik.
5. Kesimpulan, dibuat berdasarkan hasil pengamatan terhadap cara kerja software dan alat yang digunakan dalam penelitian.

1.6. Manfaat Penulisan

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penulisan ini adalah : Penulis mampu mendesain sebuah Prototipe Mini CNC Drawing Machine yang dapat mengenal dan menggambar pola PCB.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika Penulisan adalah sebagai berikut :

- BAB I : Berisikan Latar Belakang, Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan Penulisan, Metodologi Penelitian, Manfaat Penulisan dan Sistematika Penulisan.
- BAB II : Berisikan Landasan Teori
- BAB III : Berisikan Metode Peneliitan
- BAB IV : Berisikan Hasil Penelitian dan Pembahasan
- BAB V : Berisikan Kesimpulan dan Saran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Arduino

Syahwil (2013:5) Arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik opensource yang didalamnya terdapat komponen utama, yaitu sebuah chip mikrokontroller dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Mikrokontroller Arduino dikenal luas karena selain open source, mudah dalam pemrograman, harganya terjangkau.

Arduino bermula dari sebuah Tesis yang dibuat oleh Hernando Barragan pada Institut Ivrea di Italia tahun 2005, yang kemudian dikembangkan oleh Massimo Banzi dan David Cuartielles yang memberi nama Arduin of Ivrea yang selanjutnya disebut Arduino yang dalam bahasa Itali berarti “teman yang berani”, memudahkan siswa dalam merancang perangkat yang dapat berinteraksi dengan mudah dan terjangkau.

Diawal pengembangannya, Tim yang terdiri dari Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca artino, dan David Mellis melakukan penelitian lanjutan pada pembangunan program *Wiring*. Program *Wiring* dirancang sebagai alat untuk merancang project digital yang sederhana dan murah dari segi biaya bagi orang awam. Program *Wiring* dibangun menggunakan mikrokontroller ATmega168 pada *Printed Circuit Board* (PCB) dan diprogram menggunakan IDE (*Integrated Development Environment*) yakni software *Processing*. Arduino merupakan program lanjutan dari *Wiring* yang dibuat lebih ringan, murah dan

open source. Sehingga pada tahun 2011 lebih dari 300.000 Arduino diproduksi secara resmi dan pada tahun 2013 perangkat Arduino telah digunakan oleh lebih dari 700.000 pengguna.

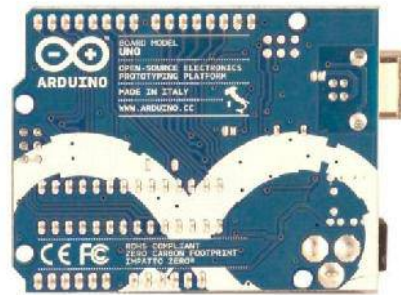
Physical Computing merupakan disiplin ilmu yang dikembangkan dari desain, interaksi, seniman dan perancang memanfaatkan teknologi untuk membuat karya seni dan instalasi yang berinteraksi dengan audiens, untuk menghubungkan dunia virtual dan nyata, fisik dan untuk menciptakan informasi baru **(Przybylla dan Romeike, 2014)**. *Physical Computing* ditandai oleh prototipe dengan teknologi khususnya elektronik menggunakan kembali dan meningkatkan perangkat keras dan perangkat lunak yang ada dengan cara eksperimental didorong oleh rasa ingin tahu, imajinasi dan kreativitas adalah bagian dari Arduino **(Banzi, 2011)**.

Arduino merupakan *prototyping platform* yang bersifat *open source* menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak yang mudah digunakan. *Hardware* dan *software* Arduino didesain agar mudah digunakan oleh pemula yang tidak memiliki pengalaman programming dan pengetahuan tentang elektronika. *Hardware* Arduino berupa papan pengembangan yang berisi mikrokontroler AVR buatan Atmel. *Software* Arduino terdiri dari bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment* (IDE) yang gratis untuk diunduh dan digunakan. IDE ini memungkinkan kita untuk menulis, mengedit program dan mengkonversinya menjadi kode-kode instruksi untuk selanjutnya diprogramkan dipapan Arduino **(Dharmawan, 2017)**



Gambar 2.1 Tampilan depan dari *Arduino Uno R3*

Sumber : <https://ndoware.com/apa-itu-arduino-uno.html>



Gambar 2.2 Tampilan belakang dari *Arduino Uno R3*

Sumber : <http://blog.famosastudio.com>

2.2 Mesin CNC

(Suh et al, 2008) Awal lahirnya mesin CNC (Computer Numerically Controlled) bermula dari 1952 yang dikembangkan oleh John Pearson dari Institut Teknologi Massachusetts, atas nama Angkatan Udara Amerika Serikat. Semula proyek tersebut diperuntukkan untuk membuat benda kerja khusus yang rumit. Semula perangkat mesin CNC memerlukan biaya yang tinggi dan volume unit pengendali yang besar.

Pada tahun 1973, mesin CNC masih sangat mahal sehingga masih sedikit perusahaan yang mempunyai keberanian dalam memelopori investasi dalam teknologi ini. Dari tahun 1975, produksi mesin CNC mulai berkembang pesat.

Perkembangan ini dipacu oleh perkembangan mikroprosesor, sehingga volume unit pengendali dapat lebih ringkas (Labinovasi, 2013).

Mesin CNC merupakan mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik (data perintah dengan kode angka, huruf dan simbol) sesuai standar ISO. Mesin CNC ini menggunakan software-software antara lain Arduino, Inkscape, dan Processing. Adapun beberapa hardware-nya yaitu Arduino Uno, Adafruit Motor Shield, Nema 16 Stepping Motor, dan mekaniknya. Proses perancangan dilaksanakan secara cermat, mulai dari pemilihan bahan untuk mekanik, desain mesin, instalasi software, sinkronisasi sampai pada percobaan pengoperasian mesin, agar mesin dapat bekerja sesuai dengan program yang telah dibuat dan menghasilkan gambar pola yang diinginkan.

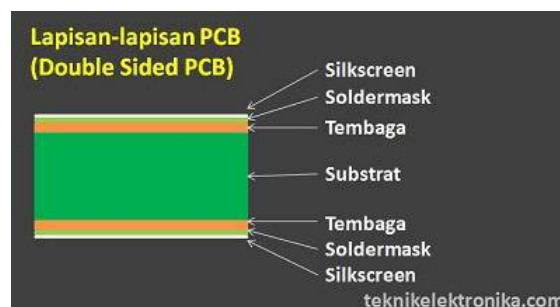
Prinsip kerja *CNC* secara sederhana dapat diuraikan sebagai berikut, :

1. Pemrogram membuat program *CNC* sesuai produk yang akan dibuat dengan cara pengetikan langsung pada mesin *CNC* maupun dibuat pada komputer dengan perangkat lunak pemrograman *CNC*.
2. Program *CNC* tersebut, lebih dikenal sebagai *G-Code*, seterusnya dikirim dan dieksekusi oleh prosesor pada mesin *CNC* menghasilkan pengaturan motor servo pada mesin untuk menggerakkan perkakas yang bergerak melakukan proses permesinan hingga menghasilkan suatu produk sesuai program.

2.3 PCB (*Printed Circuit Board*)

(https://id.wikipedia.org/wiki/Papan_sirkuit_cetak) Papan sirkuit cetak (bahasa Inggris : *printed circuit board* atau *PCB*) adalah sebuah papan yang penuh dengan sirkuit dari logam yang menghubungkan elektronik yang berbeda jenis maupun sama satu sama lain tanpa kabel. Papan sirkuit ini sudah diproduksi secara massal dengan cara pencetakan untuk keperluan elektronika dan yang ada hubungannya dengan kelistrikan. *PCB* ditemukan oleh seorang ilmuwan *Austria* yang bernama *Paul Eisler* pada tahun 1936. *Paul Eisler* menggunakan *PCB* pertama kali di sebuah rangkaian radio. Kemudian pada tahun 1943, *Amerika Serikat* mulai memanfaatkan teknologi *PCB* ini pada radio militer dalam skala yang lebih besar. Tiga tahun setelah perang dunia kedua yaitu pada tahun 1948, *PCB* mulai digunakan untuk produk-produk komersial oleh perusahaan-perusahaan *Amerika Serikat*.

Secara struktur, *PCB* seperti kue lapis yang terdiri dari beberapa lapisan dan laminasi menjadi satu kesatuan yang disebut *PCB*. Ada *PCB* yang berlapis satu lapisan tembaga (*single sided*), ada juga yang berlapis dua lapisan tembaga (*double sided*) dan ada juga *PCB* yang memiliki beberapa lapisan tembaga atau sering disebut dengan *Multilayer PCB*.



Gambar 2.3 Struktur dan komposisi standar *PCB*
 Sumber : www.teknikelektronika.com

2.3.1 Substrat (Lapisan Landasan)

Lapisan dasar (landasan) PCB biasanya disebut dengan Substrat. Bahan Substrat yang paling umum digunakan adalah FR2 dan FR4. FR2 atau Flame Resistant 2 adalah kertas bonding resin sintesis (synthetic resin bonded paper) yaitu bahan komposit yang terbuat dari kertas yang diresapi dengan resin plastik formaldehida fenol (*plasticized phenol formaldehyde resin*). Sedangkan FR4 atau Flame Resistant 4 adalah anyaman Fiberglass yang dilapisi dengan resin epoksi (*epoxy resin*). FR4 memiliki daya serap air yang rendah, properti isolasi yang bagus serta tahan suhu panas hingga 140 derajat celcius. Namun, PCB yang berbahan FR4 lebih mahal jika dibandingkan dengan PCB yang berbahan FR2.

2.3.2 Tembaga (Copper)

Lapisan PCB berikutnya adalah lapisan tembaga tipis yang dilaminasi ke lapisan substrat dengan suhu tinggi tertentu dan perekat. Tergantung pada jenis PCB-nya, lapisan tembaga tipis ini hanya akan dilapisi pada satu sisi substrat untuk jenis Single Sided PCB. Sedangkan Double Sided PCB terdapat lapisan tembaga tipis di dua sisi Substrat. Seiring dengan perkembangan Teknologi manufaktur PCB saat ini, PCB telah dapat dibuat hingga 16 lapisan atau bahkan lebih dari 16 lapisan tergantung pada perancangan PCB dan rangkaian yang diinginkan.

2.3.3 Soldermask

Soldermask adalah lapisan diatas lapisan tembaga yang berfungsi melindungi tembaga atau jalur konduktor dari hubungan atau kontak yang tidak disengaja. Lapisan soldermask ini hanya terdapat pada bagian-bagian PCB yang

tidak disolder, sedangkan bagian yang akan disolder tidak ditutupi oleh lapisan soldermask. Lapisan soldermask ini juga dapat membantu para pengguna PCB untuk menyolder tepat pada tempatnya sehingga mencegah solder short (hubung singkat solder). Lapisan soldermask ini biasanya berwarna hijau, namun ada juga yang berwarna lain seperti warna biru dan merah.

2.3.4 Silkscreen

Lapisan setelah soldermask adalah lapisan silkscreen yang biasanya berwarna putih atau hitam. Namun ada juga silkscreen yang berwarna lain seperti warna abu-abu, warna merah dan bahkan ada berwarna kuning keemasan. Silkscreen merupakan cetakan huruf, angka dan simbol pada PCB. Silkscreen ini berfungsi sebagai tanda atau indikator untuk komponen-komponen elektronika pada PCB sehingga mempermudah orang dalam merakitnya.

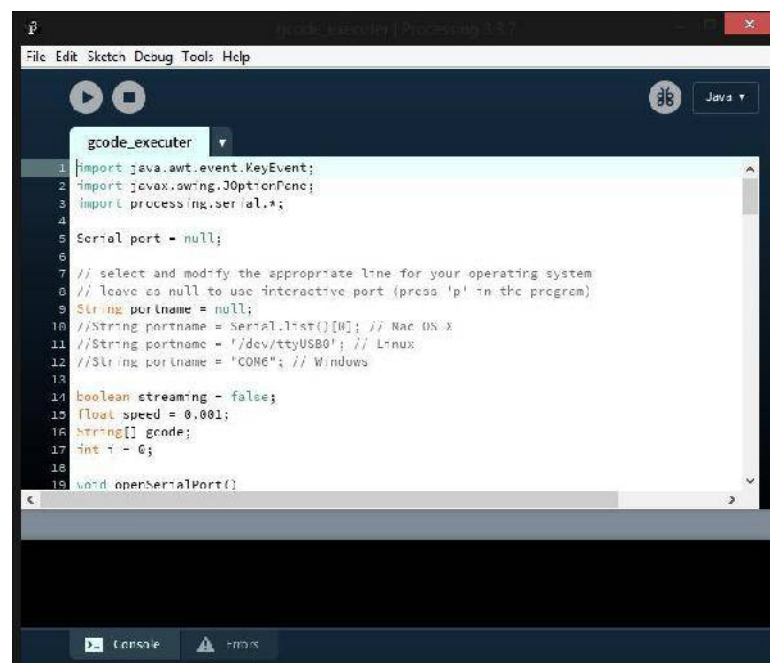
2.4 Processing

Kadir (2017 : 4) *Processing* adalah nama bahasa pemrograman yang ditujukan untuk komputer. Bahasa pemrograman ini dirancang oleh *Case Reas* dan *Ben Frey* di *Massachusetts Intsitude of Technology (MIT)* pada tahun 2001. Tujuannya adalah untuk memudahkan siapa saja yang tidak berlatar ilmu komputer dapat menangani hal-hal seperti berikut :

- Gambar;
- Animasi;
- Suara;
- Video;

- Perangkat keras;

Dengan hanya menggunakan sedikit kode, hasil secara visual dapat diperoleh. Hal ini berbeda dengan bahasa-bahasa lain yang lebih cenderung mengutamakan pemrosesan teks saja. Seperti halnya *Arduino*, *Processing* juga dilengkapi *IDE*. Pengguna juga bisa membuat program (yang secara khusus juga dinamakan sketsa) melalui teks editor yang tersedia di *IDE*. Pengguna juga bisa menjalankan sketsa melalui *IDE*.



```

File Edit Sketch Debug Tools Help
gcode_executer
1 import java.awt.event.KeyEvent;
2 import javax.swing.JOptionPane;
3 import processing.serial.*;
4
5 Serial port = null;
6
7 // select and modify the appropriate line for your operating system
8 // leave as null to use interactive port (press 'p' in the program)
9 String portname = null;
10 //String portname = Serial.list()[0]; // Mac OS-X
11 //String portname = '/dev/ttyUSB0'; // Linux
12 //String portname = 'COM1'; // Windows
13
14 boolean streaming = false;
15 float speed = 0.001;
16 String[] gcode;
17 int i = 0;
18
19 void openSerialPort()

```

Gambar 2.4 Sketsa *Processing*

2.5 Hubungan *Arduino* dan *Processing*

Sketsa yang dibuat dengan menggunakan *Arduino IDE* hanya memungkinkan untuk melakukan komunikasi antara papan *Arduino* dan komputer melalui *Serial Monitor*. Untuk beberapa hal, penggunaan *Serial Monitor* sudah cukup memadai. Namun, untuk melakukan tugas-tugas yang lebih kompleks, penggunaan sketsa *Arduino* saja tidaklah cukup.

Dengan menggunakan *Processing*, aplikasi di komputer dapat dibuat dengan mudah dan cepat. Hal yang lebih penting lagi, aplikasi dapat berhubungan dengan *Arduino*. Dengan demikian, informasi yang berasal dari sensor dapat dipantau di komputer dengan tampilan yang menarik.

2.5.1 Jenis-Jenis *Arduino*

(<https://id.wikipedia.org/wiki/Arduino>) Seperti *microcontroller* yang banyak jenisnya, *arduino* lahir dan berkembang, kemudian muncul dengan berbagai jenis, diantaranya adalah :

a. *Arduino Uno*

Jenis yang ini adalah yang paling banyak digunakan. Terutama untuk pemula sangat disarankan untuk menggunakan *Arduino Uno*. Banyak sekali referensi yang membahas *Arduino Uno*. Versi yang terakhir adalah *Arduino Uno R3* (Revisi 3), menggunakan *ATMEGA328* sebagai *Microcontrollernya*, memiliki 14 *pin I/O digital* dan 6 *pin input analog*. Untuk pemrograman cukup menggunakan koneksi *USB type A to To type B*. Sama seperti yang digunakan pada *USB printer*.

b. *Arduino Due*

Berbeda dengan saudaranya, *Arduino Due* tidak menggunakan *ATMEGA*, melainkan dengan chip yang lebih tinggi *ARM Cortex CPU*. Memiliki 54 *I/O pin digital* dan 12 *pin input analog*. Untuk pemrogramannya menggunakan *Micro USB*, terdapat pada beberapa *handphone*.

c. *Arduino Mega*

Mirip dengan Arduino Uno, sama-sama menggunakan *USB type A to B* untuk pemrogramannya. Tetapi *Arduino Mega*, menggunakan Chip yang lebih tinggi *ATMEGA2560*. Dan tentu saja untuk *Pin I/O Digital* dan *pin input Analognya* lebih banyak dari *Uno*.

d. *Arduino Leonardo*

Bisa dibilang *Leonardo* adalah saudara kembar dari *Uno*. Dari mulai jumlah *pin I/O digital* dan *pin input analognya* sama. Hanya pada *Leonardo* menggunakan *Micro USB* untuk pemrogramannya.

e. *Arduino Fio*

Bentuknya lebih unik, terutama untuk socketnya. Walau jumlah *pin I/O digital* dan *input analognya* sama dengan *Uno* dan *Leonardo*, tapi *Fio* memiliki *Socket XBee*. *XBee* membuat *Fio* dapat dipakai untuk keperluan proyek yang berhubungan dengan *wireless*.

f. *Arduino Lilypad*

Bentuknya yang melingkar membuat *Lilypad* dapat dipakai untuk membuat proyek unik. Hanya versi lamanya menggunakan *ATMEGA168*, tapi masih cukup untuk membuat satu proyek keren. Dengan 14 *pin I/O digital*, dan 6 *pin input analognya*.

g. *Arduino Nano*

Sepertinya namanya, *Nano* yang berukuran kecil dan sangat sederhana ini, menyimpan banyak fasilitas. Sudah dilengkapi dengan *FTDI* untuk pemrograman lewat *Micro USB*. 14 *Pin I/O Digital*, dan 8 *Pin input Analog*

(lebih banyak dari *Uno*). Dan ada yang menggunakan *ATMEGA168*, atau *ATMEGA328*.

h. *Arduino Mini*

Fasilitasnya sama dengan yang dimiliki *Nano*. Hanya tidak dilengkapi dengan *Micro USB* untuk pemrograman. Dan ukurannya hanya 30 mm x 18 mm saja.

i. *Arduino Micro*

Ukurannya lebih panjang dari *Nano* dan *Mini*. Karena memang fasilitasnya lebih banyak yaitu; memiliki 20 *pin I/O digital* dan 12 *pin input analog*.

j. *Arduino Ethernet*

Ini *arduino* yang sudah dilengkapi dengan fasilitas *ethernet*. Membuat *Arduino* dapat berhubungan melalui jaringan *LAN* pada komputer. Untuk fasilitas pada *Pin I/O Digital* dan *Input Analognya* sama dengan *Uno*.

k. *Arduino Esplora*

Arduino yang sudah dilengkapi dengan *Joystick*, *button*, dan sebagainya.

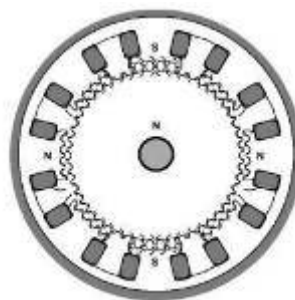
l. *Arduino Robot*

Ini adalah paket komplet dari *Arduino* yang sudah berbentuk robot. Sudah dilengkapi dengan *LCD*, *Speaker*, *Roda*, *Sensor Infrared*, dan semua yang dibutuhkan untuk robot sudah ada pada *Arduino* ini.

2.6 Motor Stepper

Motor stepper adalah motor yang digunakan sebagai penggerak atau pemutar. 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 fasa”, “berapa derajat perstep”, “berapa *volt* tegangan catu untuk 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* (Trianto, 2005).



Gambar 2.5 Bagian dalam motor stepper

Sumber : www.researchgate.net

Motor stepper tidak merespon sinyal *clock* dan mempunyai beberapa lilitan dimana lilitan-lilitan tersebut harus dicatu (tegangan) dahulu dengan suatu urutan tertentu agar dapat berotasi. Membalik urutan pemberian tegangan tersebut akan menyebabkan putaran motor stepper yang berbalik arah. Jika sinyal kontrol tidak terkirim sesuai dengan perintah maka motor stepper tidak akan berputar secara

tepat, mungkin hanya akan bergetar dan tidak bergerak. Untuk mengontrol motor stepper digunakan suatu rangkaian *driver* yang menangani kebutuhan arus dan tegangan (Trianto, 2005).

2.6.1 Karakteristik Motor Stepper

Karakteristik dari motor stepper menurut Trianto adalah sebagai berikut:

- a. Tiap motor stepper mempunyai tegangan rata-rata yang tertulis pada tiap unitnya atau tercantum pada datasheet masing-masing motor stepper. Tegangan rata-rata ini harus diperhatikan dengan seksama karena bila melebihi dari tegangan rata-rata ini akan menimbulkan panas yang menyebabkan kinerja putarannya tidak maksimal atau bahkan motor stepper akan rusak dengan sendirinya.
- b. Resistansi per lilitan adalah karakteristik yang lain dari motor stepper. Resistansi ini akan menentukan arus yang mengalir, selain itu juga akan mempengaruhi torsi dan kecepatan maksimum dan motor stepper.
- c. Derajat per step adalah faktor terpenting dalam pemilihan motor stepper sesuai dengan aplikasinya. Tiap-tiap motor stepper mempunyai spesifikasi masing-masing, antara lain: 0.72° per step, 1.8° per step, 3.6° per step, 7.5° per step, 15° per step, dan bahkan ada yang 90° per step. Dalam pengoperasiannya kita dapat menggunakan 2 prinsip yaitu full step atau half step. Dengan full step berarti motor stepper berputar sesuai dengan spesifikasi derajat per stepnya, sedangkan half step berarti motor

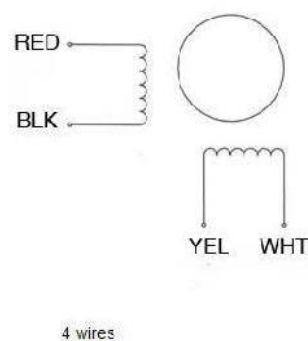
stepper berputar setengah derajat per step dari spesifikasi motor stepper tersebut (Andika, 2017).

2.6.2 Jenis Motor Stepper

Motor stepper dibedakan menjadi dua kategori besar yaitu: magnet permanen dan reluktansi variabel. Tipe magnet permanen terbagi menjadi dua motor stepper yaitu motor stepper unipolar dan bipolar.

Motor stepper unipolar sangat mudah untuk dikontrol dengan menggunakan rangkaian counter „n“. Motor stepper unipolar mempunyai karakteristik khusus yaitu berupa lilitan center-tapped dan 1 lilitan sebagai common. Lilitan common akan mencatu tegangan pada center-tapped dan sebagai ground adalah rangkaian drivernya.

Motor stepper unipolar dapat dikenali dengan mengetahui adanya lilitan center-tapped. Jumlah phase dan motor stepper adalah dua kali dan jumlah koilnya. Umumnya pada motor stepper unipolar terdapat dua buah koil (Trianto, 2005).

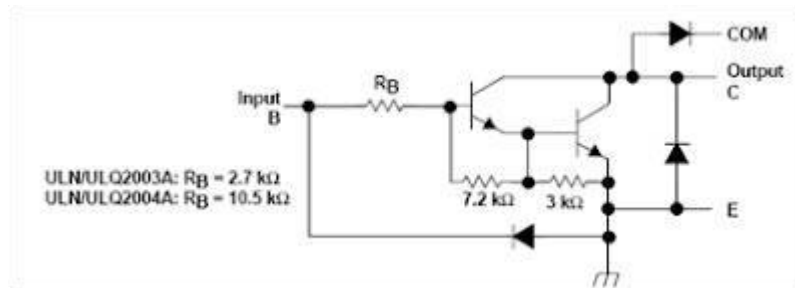


Gambar 2.6 Diagram Motor Stepper 4 Wire

www : www.circuitspecialists.com

2.7 IC ULN2003

IC ULN2003 adalah sebuah IC dengan ciri memiliki 7-bit input, tegangan maksimum 50 volt dan arus 500mA. IC ini termasuk jenis TTL, di dalam IC terdapat transistor *darlington*. Transistor *darlington* merupakan 2 buah transistor yang dirangkai dengan konfigurasi khusus untuk mendapatkan penguatan ganda sehingga dapat menghasilkan arus yang besar.



Gambar 2.7 Rangkaian Darlington IC ULN2003

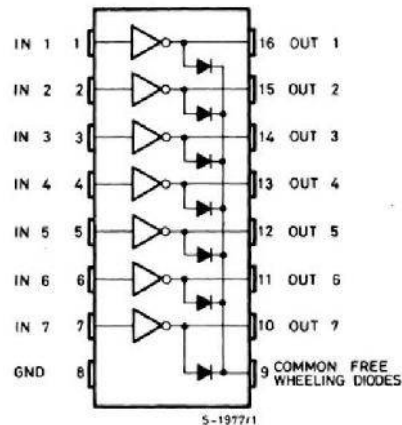
Sumber : [www. http.electronics.stackexchange.com/](http://www.electronics.stackexchange.com/)

IC ULN2003 merupakan IC yang mempunyai 16 buah pin, pin ini berfungsi sebagai *input*, *output*, dan pin untuk catu daya. Catu daya ini terdiri dari catu daya (+) dan *ground*. IC ULN2003 biasa digunakan sebagai *driver* motor *stepper* maupun *driver relay*.



Gambar 2.8 Bentuk IC ULN2003

Sumber : www.ecadio.com



Gambar 2.9 Transistor *Darlington* dalam IC *ULN2003*

Sumber : www.bukalapak.com

2.8 Resistor

Resistor adalah komponen elektronik yang memiliki dua pin dan di desain untuk mengatur tegangan listrik dan arus listrik. Resistor mempunyai nilai resistansi (tahanan) tertentu yang dapat memproduksi tegangan listrik di antara kedua pin dimana nilai tegangan terhadap resistansi tersebut berbanding lurus dengan arus yang mengalir. (<https://id.wikipedia.org/wiki/Resistor>)

Resistor digunakan sebagai bagian dari rangkaian elektronik dan sirkuit elektronik, dan merupakan salah satu komponen yang paling sering digunakan. Resistor dapat dibuat dari bermacam-macam komponen dan film, bahkan kawat resistansi (kawat yang dibuat dari paduan resistivitas tinggi seperti *nikel-kromium*). Karakteristik utama dari resistor adalah resistansinya dan daya listrik yang dapat dihantarkan. Karakteristik lain termasuk koefisien suhu, derau listrik (*noise*), dan induktansi.

2.8.1 Identifikasi Empat Pita

Identifikasi empat pita adalah skema kode warna yang paling sering digunakan. Ini terdiri dari empat pita warna yang dicetak mengelilingi badan resistor. Dua pita pertama merupakan informasi dua digit harga resistansi, pita ketiga merupakan faktor pengali (jumlah nol yang ditambahkan setelah dua digit resistansi) dan pita keempat merupakan toleransi harga resistansi. Kadang-kadang terdapat pita kelima yang menunjukkan koefisien suhu, tetapi ini harus dibedakan dengan sistem lima warna sejati yang menggunakan tiga digit resistansi. Sebagai contoh, hijau-biru-kuning-merah adalah $56 \times 10^4 \Omega = 560 \text{ k}\Omega \pm 2\%$. Deskripsi yang lebih mudah adalah pita pertama berwarna hijau yang mempunyai harga 5, dan pita kedua berwarna biru yang mempunyai harga 6, sehingga keduanya dihitung sebagai 56. Pita ketiga berwarna kuning yang mempunyai harga 10^4 yang menambahkan empat nol dibelakang 56, sedangkan pita keempat berwarna merah yang merupakan kode untuk toleransi $\pm 2\%$ memberikan nilai 560.000Ω pada keakuratan $\pm 2\%$.

Tabel 2.1 Pita Resistor

Warna	Pita pertama	Pita kedua	Pita ketiga (pengali)	Pita keempat (toleransi)	Pita kelima (koefisien suhu)
Hitam	0	0	$\times 10^0$		
Cokelat	1	1	$\times 10^1$	$\pm 1\%$ (F)	100 ppm
Merah	2	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$ (G)	50 ppm
Jingga (oranye)	3	3	$\times 10^3$		15 ppm

Kuning	4	4	$\times 10^4$		25 ppm
Hijau	5	5	$\times 10^5$	$\pm 0.5\%$ (D)	
Biru	6	6	$\times 10^6$	$\pm 0.25\%$ (C)	
Ungu	7	7	$\times 10^7$	$\pm 0.1\%$ (B)	
Abu-abu	8	8	$\times 10^8$	$\pm 0.05\%$ (A)	
Putih	9	9	$\times 10^9$		
Emas			$\times 10^{-1}$	$\pm 5\%$ (J)	
Perak			$\times 10^{-2}$	$\pm 10\%$ (K)	
Kosong				$\pm 20\%$ (M)	

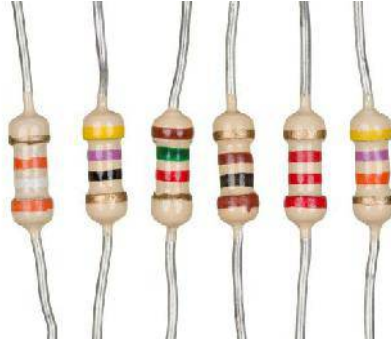
Sumber : www.buatberbagisaja.wordpress.com

2.8.2 Identifikasi Lima Pita

Identifikasi lima pita digunakan pada resistor presisi (toleransi 1%, 0.5%, 0.25%, 0.1%). Untuk memberikan harga resistansi ketiga. Tiga pita pertama menunjukkan harga resistansi, pita keempat adalah pengali, dan yang kelima adalah toleransi. Resistor lima pita dengan pita keempat berwarna emas atau perak kadang-kadang diabaikan, biasanya pada resistor lawas atau penggunaan khusus. Pita keempat adalah toleransi dan yang kelima adalah koefisiensi suhu. Rentang suhu operasional membedakan komponen kelas komersil, kelas industri dan kelas militer.

- Kelas komersil: 0 °C hingga 70 °C
- Kelas industri: -40 °C hingga 85 °C (seringkali -25 °C hingga 85 °C)
- Kelas militer: -55 °C hingga 125 °C (seringkali -65 °C hingga 275 °C)

- Kelas standar: $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $60\text{ }^{\circ}\text{C}$



Gambar 2.10 Resistor

Sumber : www.en.wikipedia.com

2.9 LED (*Light Emitting Diode*)

(Nayomi, 2013) *Light emitting diode* atau yang disingkat *LED* adalah komponen elektronika yang dapat memancarkan cahaya monokromatik ketika diberikan tegangan maju. *LED* merupakan keluarga dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor. Warna-warna cahaya yang dipancarkan oleh *LED* tergantung dari bahan semikonduktor yang dipergunakannya. *LED* juga dapat memancarkan sinar inframerah yang tidak tampak oleh mata seperti yang sering kita jumpai pada *remote control TV* ataupun *remote control* perangkat elektronik lainnya.

Bentuk *LED* mirip dengan sebuah bohlam (bola lampu) yang kecil dan dapat dipasangkan dengan mudah ke dalam berbagai perangkat elektronika. Berbeda dengan lampu pijar, *LED* tidak memerlukan pembakaran filamen sehingga tidak menimbulkan panas dalam menghasilkan cahaya. Oleh karena itu, saat ini *LED (Light Emitting Diode)* yang bentuknya kecil telah banyak digunakan sebagai lampu penerang dalam *LCD TV* yang mengganti lampu tube.

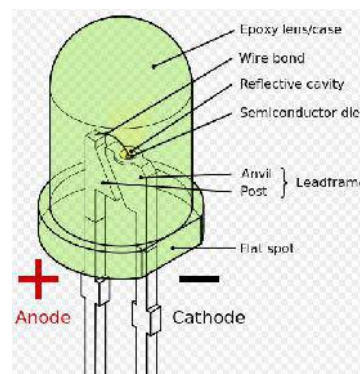


Gambar 2.11 LED

Sumber : www.tehnikielektronika.com

2.9.1 Cara Kerja LED (*Light Emitting Diode*)

Cara kerja *LED* pun hampir sama dengan dioda dan memiliki dua kutub yang sama yaitu kutub positif (P) dan kutub negatif (N). namun *LED* hanya akan menghasilkan cahaya apabila dialiri sebuah tegangan maju (bias *forward*) dari *anoda* menuju ke *katoda*. *LED* terdiri dari sebuah *chip* dari bahan semikonduktor yang di doping hingga membentuk *junction* P dan N.



Gambar 2.12 Inti LED Anoda dan katoda

Sumber : www.hartlemedia.com

Yang dimaksud proses doping semikonduktor adalah proses untuk menambah ketidakmurnian (*impurity*) pada sebuah semikonduktor yang murni sehingga dapat menghasilkan karakteristik kelistrikan yang diinginkan. Ketika

LED dialiri tegangan maju dari *anoda* menuju *katoda*, kelebihan *elektron type-N* maka material akan berpindah ke wilayah yang kelebihan *hole* yaitu wilayah yang bermuatan positif (*type-P* material). Saat elektron berjumpa dengan *hole* akan melepaskan *photon* dan memancarkan cahaya monokromatik (satu warna).

2.10 Motor Servo

Yagusandri (2011 : 8) Motor servo adalah salah satu jenis motor *DC* yang menggunakan sistem umpan balik (*feed back*) dimana posisi rotornya akan diinformasikan ke rangkaian kontrol yang ada pada servo. Motor ini terdiri dari sebuah motor *DC*, serangkaian *gear*, *potensiometer*, dan rangkaian kontrol. *Potensiometer* berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor servo. Ada 2 macam motor servo yang ada dipasaran, antara lain :

- Motor servo standar adalah jenis motor servo yang hanya dapat berputar 180° .
- Motor servo rotation continous adalah jenis motor servo yang dapat berputar 360° .

Motor servo pada dasarnya dibuat menggunakan motor *DC* yang dilengkapi dengan kontroler dan sensor posisi sehingga dapat memiliki gerakan 0° , 90° , 180° , atau 360° . Motor pada sebuah motor servo adalah motor servo adalah motor *DC* yang dikendalikan oleh bagian kontroler, kemudian komponen yang berfungsi

sebagai sensor adalah *potensiometer* yang terhubung pada sistem *girbox* pada motor servo.



Gambar 2.13 Motor Servo

Sumber : www.toleinnovator.blogspot.com

2.11 Kerangka Pemikiran

Computer Numerical Control atau *CNC* merupakan mesin perkakas yang pengoperasiannya dikendalikan melalui program yang diakses dengan komputer. Secara garis besar program permesinan berupa *input* data yang diolah pada *software* komputer yang diteruskan ke unit pengendali yang berfungsi mengubah sinyal elektronik menjadi gerakan mekanis, kemudian gerakan tersebut diteruskan ke mesin perkakas untuk melakukan permesinan. Di era sekarang, mesin *CNC* telah merevolusi proses desain dan mesin *CNC* mempunyai hubungan yang sangat erat dengan program *CAD* yang berfungsi untuk mendesain suatu produk dengan bantuan komputer.

CNC adalah salah satu hasil perpaduan teknologi komputer dan teknologi mekanik yang telah berkembang pesat dalam proses desain, salah satunya adalah desain jalur *PCB*. Perkembangan inilah yang dimanfaatkan oleh para penggemar elektronik untuk memudahkan mereka dalam menggambar jalur *PCB*, tanpa harus

menyablonnya dan dengan waktu yang cukup singkat. Proses menggambar jalur *PCB* ini dikendalikan dengan komputer menggunakan aplikasi *G-Code* yang dibuat menggunakan *software Processing*. Aplikasi inilah yang kemudian akan memproses gambar menjadi perintah titik koordinat sumbu *X*, sumbu *Y*, dan sumbu *Z*.

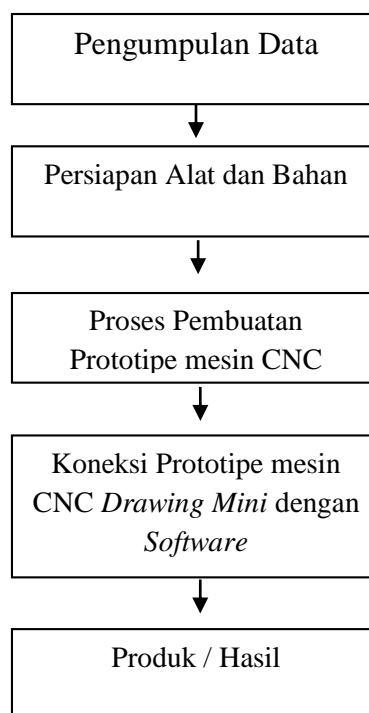
Karena pemikiran tersebut penulis bisa membuat mesin *CNC drawing mini* dengan bahan-bahan yang sederhana dan dengan biaya yang relatif murah serta menerapkannya dalam tugas akhir ini sehingga dapat membantu teman-teman penggemar elektronik untuk memudahkan mereka melakukan hobinya. Dan dengan adanya mesin ini diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan mahasiswa lainnya.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini, penulis membagikan kepada beberapa tahapan penelitian. Dimana pada setiap tahapan penelitian akan mempengaruhi keberhasilan pada tahapan berikutnya. Tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini ;



Gambar 3.1 Tahap Metode Penelitian

3.2 Penelitian Terkait

Sebelum memulai penelitian ini, penulis mengutip beberapa penelitian terdahulu mengenai prototipe mesin CNC dan prototipe mesin CNC Plotter 2D

terdahulu. Hal ini perlu sebagai bahan evaluasi dan perbandingan sehingga menjadikan penelitian ini lebih efektif dan efisien.

Penelitian yang dilakukan oleh Dityo Kurniawan Pradana yang berjudul “Rancang Bangun *CNC Milling Machine Home Made* untuk membuat PCB” menunjukkan bahwa pembuatan PCB dengan menggunakan *CNC milling machine* dapat dilakukan dengan lebih mudah dibandingkan menggunakan metode sablon. dimensi *CNC Milling Machine Home Made* yang berukuran 30cm x 50cm x 40cm serta berat 6.5kg memungkinkan proses pembuatan pola PCB dapat dilakukan dengan lebih praktis dalam satu alat. Karena *CNC Milling Machine Home Made* memiliki tingkat akurasi yang sangat baik, maka proses pembuatan PCB dapat dilakukan dengan lebih mudah dan tentunya lebih murah dari segi biaya.

Selain memiliki kelebihan, penelitian tersebut juga mendapati kekurangan yang dimiliki oleh *CNC Milling Machine Home Made*. Untuk menunjang operasional mesin tersebut, diperlukan catu daya tetap untuk menunjang jalannya sistem yang menggunakan komputer sebagai sistem intinya. Selain itu, mata bor yang digunakan merupakan mata boor yang didesain khusus untuk mesin ini, sehingga sangat sulit dijumpai dipasaran dan harganya mahal. Kualitas kerukan yang dihasilkan oleh *CNC Milling Machine Home Made* ini sangat dipengaruhi oleh kelonggaran sumbu *linear motion* sumbu. Kekurangan lainnya adalah *CNC Milling Machine Home Made* ini hanya dapat mengerjakan PCB Single layer dan belum dapat mengerjakan *PCB Double Layer* karna susahya menemukan titik *origin* (0, 0, 0) dibalik *layer* yang berseberangan.

Dalam penelitiannya, Susilawati melakukan penelitian yang berjudul “Penggunaan Simulator Prototipe mesin CNC Dan Pemberian Tugas Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Mata Diklat *CNC* Dasar Di SMK Nasional Berbah Yogyakarta”. Pada penelitian ini tidak menggunakan prototipe mesin CNC mekanik melainkan menggunakan software simulasi prototipe mesin CNC. Dengan menggunakan program simulasi gambaran pergerakan prototipe mesin CNC dapat diketahui tanpa harus memiliki alat sehingga lebih murah dari segi biaya. Penelitian ini sesuai untuk penggunaan pada proses belajar mengajar tetapi kurang sesuai digunakan untuk proses produksi produk. Program simulasi juga lebih cepat dalam mengetahui gambaran hasil prototipe mesin CNC. Sedangkan kekurangan penelitian ini yakni tidak tersedianya alat dan media pembuatan program *CNC* terutama prototipe mesin CNC baik *CNC 2 Axis* maupun *3 Axis*. Selain itu, karena penelitian ini tidak menggunakan alat mekanik, maka faktor-faktor tambahan yang terjadi pada saat proses prototipe mesin CNC berlangsung tidak diketahui.

Teuku Firsya, Muhammad Tadjuddin, Syahriza, Saddam Husaini dalam penelitiannya yang berjudul “Perancangan dan Pembuatan Prototipe Prototipe mesin CNC 4 Axis Berbasis PC (*Personal Computer*)”. Pada penelitian ini digunakan Prototipe prototipe mesin CNC 4 axis ini yang diprogram agar mampu menghasilkan produk-produk yang kompleks dan tingkat akurasi yang tinggi dengan biaya yang relatif murah. Disisi lain penelitian memiliki kekurangan dari segi akurasi protipe prototipe mesin CNC 4 axis sangat bergantung pada

mekanisme mesin tersebut. untuk sumbu X adalah 99,94%, Y=99,95%, Z=99,93% dan sumbu A sebesar 99.97%.

3.3 Mini CNC *Drawing Machine*

Mini CNC drawing machine adalah sebuah mesin yang dikembangkan untuk dapat menggambar pola 2 (dua) dimensi pada media kertas. Mesin ini memanfaatkan dua motor mekanik DVD drive yang difungsikan sebagai sumbu X dan Y. selanjutnya mesin ini nantinya diprogram untuk dapat mengenal pola PCB dan menggambarinya pada media kertas. Untuk pemrograman, alat ini menggunakan arduino, sedangkan untuk menjalankan mesin menggunakan software processing dan Gcode.

Sebelum mesin memproses gambar, digunakan program Inkscape untuk memproses pola PCB yang akan digunakan. Selanjutna gambar tersebut dirubah menjadi bentuk Gcode. Selanjutnya dengan menggunakan software processing, Gcode yang sudah dihasilkan siap untuk digunakan. Software *Processing* inilah yang akan mengartikan code-code pada *G-Code* untuk membuat prototipe mesin CNC bekerja.

Dengan penelitian ini penulis berharap dapat mengetahui tahapan sinkronisasi pengendalian kedua motor stepper agar dapat mengukur parameter ketelitian dari cara kerja mini CNC Drawing Machine berbasis mikrookontroller.

3.4 Pengumpulan Data

Untuk dapat menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian yang ada, maka sebelumnya penulis harus melakukan metode pengumpulan data. Metode penelitian menurut Sugiyono (2013:5) adalah sebagai berikut Metode penelitian pada dasarnya merupakan cara ilmiah yang digunakan untuk mendapatkan data yang valid dengan tujuan dapat ditemukan, dikembangkan, dan dibuktikan, suatu pengetahuan tertentu sehingga pada gilirannya dapat digunakan untuk memahami, memecahkan, dan mengantisipasi masalah.” Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *deskriptif verifikatif*.

a. Metode *Deskriptif*

Metode *deskriptif* adalah suatu metode dalam meneliti status kelompok manusia, suatu objek, suatu set kondisi, suatu sistem pemikiran, ataupun suatu kelas peristiwa pada masa sekarang. Tujuan dari penelitian *deskriptif* ini adalah untuk membuat deskripsi, gambaran atau lukisan secara sistematis, faktual dan akurat mengenai fakta-fakta, sifat-sifat serta hubungan antar fenomena yang diselidiki.

b. Metode *Verifikatif*

Menurut Sugiyono (2013:6) mendefinisikan metode *verifikatif* sebagai berikut: “Metode penelitian melalui pembuktian untuk menguji hipotesis hasil penelitian deskriptif dengan perhitungan statistika sehingga didapat hasil pembuktian yang menunjukkan hipotesis ditolak atau diterima.”

3.5 Sumber Data Penelitian

Dalam proses penelitian ini digunakan dua jenis data yang nantinya diproses oleh penulis.

a. Data Primer

Data primer adalah jenis data yang diperoleh langsung oleh peneliti ataupun melalui pengalaman orang lain yang disampaikan langsung kepada peneliti.

b. Data Sekunder

Data sekunder adalah jenis data yang telah dikumpulkan oleh orang lain melalui metode interview terhadap admin-admin jaringan di berbagai instansi atau perusahaan serta melalui berbagai sumber referensi seperti buku maupun jurnal

3.6 Bahan dan Alat

Untuk membangun sebuah mini CNC drawing machine, penulis menggunakan laptop, beberapa perangkat keras, dan software antara lain sebagai berikut ;

1. Perangkat Keras (*Hardware*)
 - a. Arduino Uno
 - b. Servo S90
 - c. 2 motor mekanik DVD bekas
 - d. 2 buah driver motor dan beberapa perangkat lainnya.
 - e. Kipas pendingin
2. Perangkat Lunak (*Software*)

- a. Arduino
- b. Processing
- c. G-Code
- d. Inkscape

3.7 Alat Pendukung

Alat pendukung merupakan peralatan yang digunakan dalam membuat bagian-bagian mini CNC drawing machine, diantaranya;

- a. Bor Tangan

Bor tangan digunakan untuk membuat lubang pada triplek dan pelt akrilik yang nantinya digunakan sebagai rangka utama prototipe mini CNC drawing machine.



Gambar 3.2 Bor Tangan

Sumber : www.olx.co.id

- b. Penggaris Siku

Penggaris siku merupakan alat ukur yang sangat penting. Karena memiliki sudut siku tetap, yang diperlukan dalam menggambar dan

menandai pada bahan plat siku yang akan dipotong agar hasilnya tidak miring dan membentuk sudut yang benar.



Gambar 3.3 Penggaris Siku

Sumber : www.tokopedia.com

c. Tang Potong

Tang potong digunakan untuk memotong akrilik dan kabel.



Gambar 3.4 Tang Potong

Sumber : www.jogjarobotika.com

d. *Glue Gun*

Glue gun digunakan untuk melunakkan batangan silikon dengan menggunakan tenaga listrik yang kemudian digunakan untuk merekatkan dinamo, motor servo dan bagian-bagian lain dari mini CNC drawing machine pada rangka.



Gambar 3.5 Glue Gun

Sumber : www.rathyelectronics.com

e. Solder

Solder digunakan untuk merakit rangkaian kabel pada motor stepper, motor servo, motor driver dan mikrokontroler arduino.



Gambar 3.6 Solder

Sumber : www.lazada.com

f. Laptop

Laptop digunakan sebagai pusat kendali mini CNC drawing machine. Seluruh perangkat lunak digunakan harus diinstal di laptop. Selain itu laptop juga digukan sebagai salah satu catu daya prototipe mesin CNC. Berikut spesifikasi laptop yang digunakan:

Tabel 3.1 Spesifikasi Laptop yang digunakan

Merk	Lenovo G-40 30
Processor	Intel Celeron N2840 2.16 Ghz
Operating System	Windows 8.1
Memory	4GB DDR3
Display	14.1 Inch WXGA
Video Card	Integrated Intel (R) HD Graphics
Hard Drive	500GB SATA

g. Aplikasi Pengelola *Image*

Pada penelitian ini, aplikasi pengelola gambar yang digunakan adalah Inkscape. Software ini digunakan untuk mengenali pola PCB dan mengubahnya menjadi format Gcode. Proses perubahan diawali dengan meng-import gambar pola PCB yang akan digunakan ke Inkscape. Sebelumnya ukuran gambar pola harus disesuaikan dengan ukuran maksimal mini CNC drawing machine, pada penelitian ini 40 mm x 40 mm. Selanjutnya gambar pola PCB dirubah menjadi format BMP (bitmap) lalu kemudian disimpan dalam format Gcode.

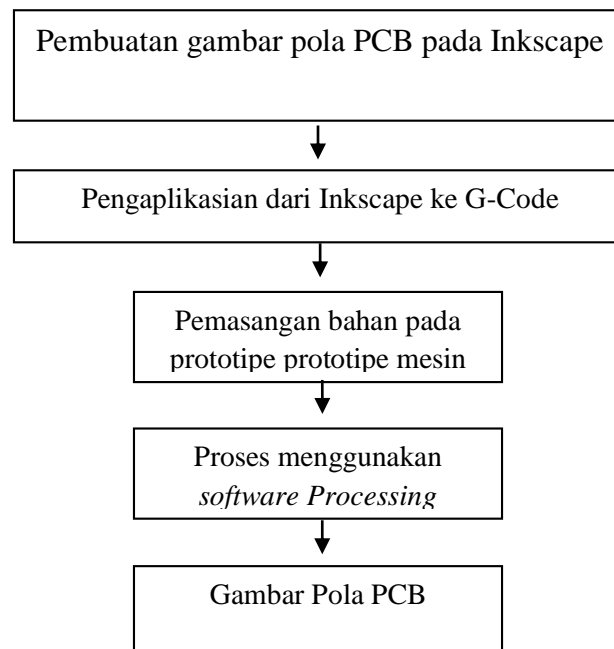
h. Akrilik

Akrilik adalah Bahan penelitian ini menggunakan Akrilik dengan ukuran ketebalan 0,8 mm.



Gambar 3.7 Akrilik

3.8 Proses Pembuatan Pola PCB



Gambar 3.8 Proses Pembuatan Gambar Pola PCB

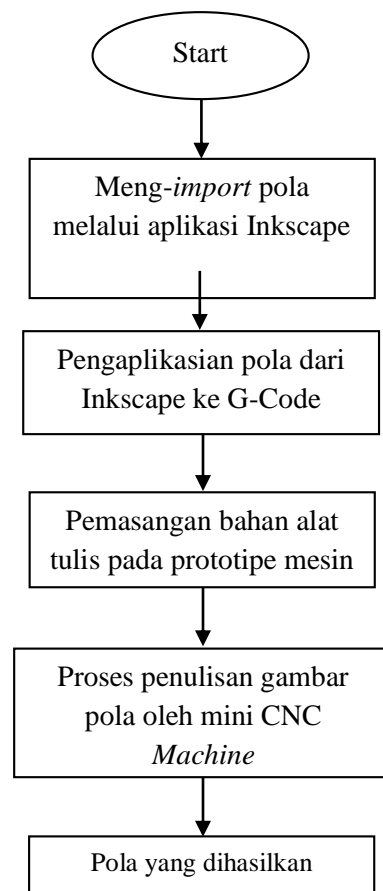
3.9 Prosedur Pembuatan Gambar Pola PCB

Dalam menggambar pola PCB di mini CNC drawing machine harus melalui tahapan-tahapan sebagai berikut :

- a) Memasang kertas pada meja/bet cetak prototipe mesin CNC.

- b) Penyesuaian pada software kendali prototipe mesin CNC dan *setting* program pada komputer/laptop.
- c) Mengubah gambar pola PCB dengan *inkscape* ke aplikasi *G-Code* yang kemudian dijalankan di program *Processing*. Kemudian *G-Code* yang sudah dibaca diaplikasikan ke prototipe mesin CNC *Drawing*.
- d) Melakukan proses gambar di prototipe mesin CNC *Drawing*.
- e) Mendapatkan hasil gambar pola PCB dari proses gambar dengan mini CNC drawing machine

3.10 Flowchart Program



Gambar 3.9 Flowchart Program

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

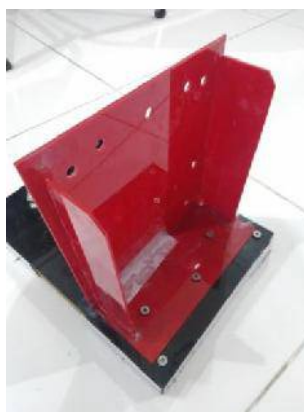
4.1 Perancangan Mesin

1. Papan Lapis yang menjadi landasan untuk semua komponen disiapkan, dengan membuat lobang baut untuk komponen yang akan digunakan.



Gambar 4.1 Papan Lapis

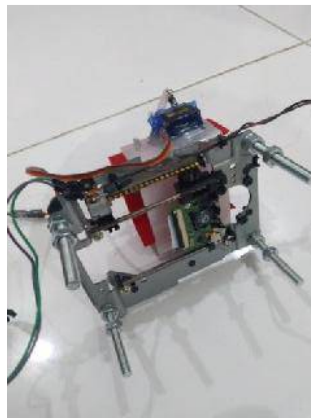
2. *Acrylic* yang akan digunakan sebagai landasasn motor axis “Y” dibentuk dan dilubangi sesuai dengan posisi motor.



Gambar 4.2 *Acrylic* yang sudah dibentuk dan dilubangi

3. Motor mekanik DVD

Motor mekanik bekas dari pemutar DVD atau VCD digunakan sebagai penggerak pada prototipe mesin CNC. Motor mekanik yang awalnya digunakan sebagai penggerak laser optik pada DVD dan VCD dimodifikasi sebagai penggerak pada prototipe mesin CNC. Modifikasi yang dilakukan dengan membuang lensa optik dan menggantinya dengan baut yang nantinya digunakan sebagai penyangga untuk pen holder dan bed cetak. Untuk sumbu “Y” atau pen holder, motor mekanik di posisikan untuk pergerakan kiri dan kanan dan juga sebagai penyangga untuk pen holder. Seluruh modul motor mekanik tersebut di pasang pada pelat acrylic yang sudah dibentuk sedemikian rupa dengan menggunakan 4 (empat) buah baut.



Gambar 4.3 Mekanik DVD axis “Y”

Sedangkan motor mekanik yang digunakan untuk sumbu “X”, dipasang pada triplek dengan menggunakan 4 (empat) baut sebagai penyangganya. Motor mekanik diposisikan untuk pergerakan maju dan mundur Posisi lensa optik pada motor mekaniknya digantikan dengan baut yang nantinya

dijadikan penyangga untuk pelat *acrylic* yang digunakan sebagai landasan kertas gambar.



Gambar 4.4 Mekanik *DVD* axis “X”

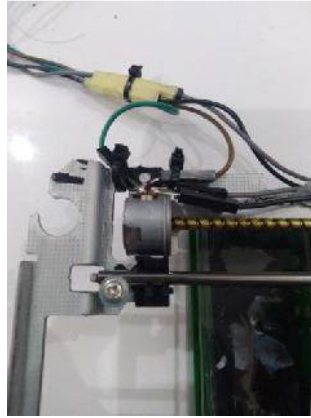
Bed gambar dibuat dari pelat *acrylic* dan dihubungkan dengan baut dengan motor mekanik sumbu “X”. digunakan sebagai tempat kertas gambar pada prototipe mesin CNC.



Gambar 4.5 *Bed* gambar

Motor stepper yang ada pada motor mekanik DVD dan VCD berfungsi untuk mengubah sinyal elektronik menjadi gerakan mekanik tertentu. Motor stepper memiliki respon yang sangat baik pergerakan maju, berhenti dan berbalik arah. Namun pada aplikasinya motor stepper dapat

menghasilkan panas hingga 80°C sehingga berpotensi merusak pada penggunaan jangka panjang.



Gambar 4.6 *Motor stepper*

Pen holder pada prototipe mesin CNC ini dibuat menggunakan pelat acrylic yang sudah dibentuk sedemikian rupa dengan cekungan yang digunakan sebagai tempat meletakkan pena. Untuk mengokohkan posisi pena, digunakan dua baut sebagai penjepitnya. Motor servo digunakan sebagai penggerak naik dan turun pena pada kertas.



Gambar 4.7 *Adjustable pen holder*

Motor driver yang digunakan adalah tipe L29D keluaran MH Electronics. Motor driver ini sering digunakan untuk merakit robot dan prototipe mesin

CNC. Pada prototipe mesin CNC ini, motor driver digunakan untuk mengendalikan arah putaran dan kecepatan motor stepper, dan mengendalikan pergerakan motor servo pada pen holder.



Gambar 4.8 Driver motor

Arduino uno adalah papan mikrokontroler open source berbasis mikrokontroler Microchip AT Mega 328 P dan dikembangkan Arduino CC. papan ini dilengkapi dengan set pin input/output (I/O) digital dan analog yang dapat dihubungkan ke berbagai papan ekspansi dan sirkuit lainnya. Papan ini memiliki 14 pin I/O digital, 6 pin I/O analog, dan dapat diprogram dengan Arduino IDE melalui kabel USB tipe B. Papan mikrokontroler ini dapat diaktifkan dengan menggunakan arus dari kabel USB atau menggunakan baterai eksternal. Pada prototipe mesin CNC ini, sumber daya yang digunakan berasal dari adaptor AC/DC 220V/5V.



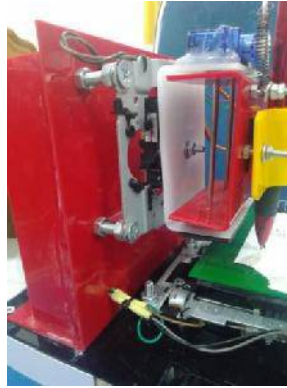
Gambar 4.9 Board Arduino Uno

4. Lubangi triplek, lalu dipasang baut sebanyak 4 (empat) buah yang digunakan sebagai landasan untuk motor mekanik DVD (sumbu “x”) atau “*bed gambar*”

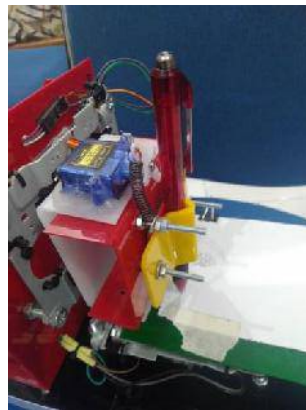


Gambar 4.10 Konfigurasi motor mekanik sumbu “x” yang diletak di triplek

5. Lubangi pelat acrylic yang sudah dibentuk, lalu maukan 4 (empat) buah baut yang akan digunakan sebagai landasan untuk motor mekanik DVD (sumbu “y”) dan juga Adjustable pen holder



Gambar 4.11 Konfigurasi motor mekanik sumbu “y” yang diletak pada pelat *acrylic* yang sudah dibentuk



Gambar 4.12 Konfigurasi *pen holder* yang dihubungkan dengan baut pada motor mekanik sumbu “y”

6. Konfigurasi *driver motor* terhadap *Board Arduino Uno*



Gambar 4.13 Konfigurasi board *Arduino Uno* terhadap *Driver Motor*

7. Posisi semua perangkat secara utuh

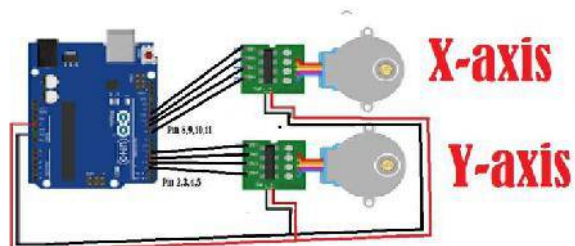


Gambar 4.14 Semua komponen yang sudah di rakit (tampak depan)



Gambar 4.15 Semua komponen yang sudah di rakit (tampak belakang)

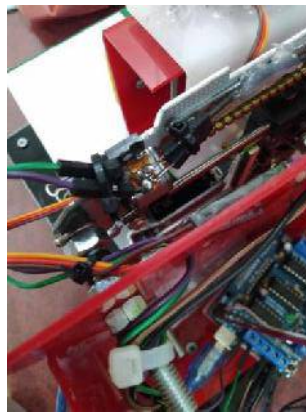
8. Pasang kabel motor *stepper* ke driver motor dan sesuai kan kabel driver motor ke *Arduino* seperti gambar dibawah.



Gambar 4.16 Skema pengkabelan



Gambar 4.17 Susunan kabel di driver board



Gambar 4.18 Susunan kabel di motor *stepper* sumbu “y”



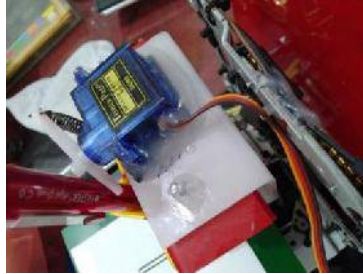
Gambar 4.19 Susunan kabel di motor *stepper* sumbu “x”

9. Setelah semua kabel terpasang jangan lupa untuk memasang kabel motor servo dengan keterangan :

Coklat = gnd

Merah = 5v

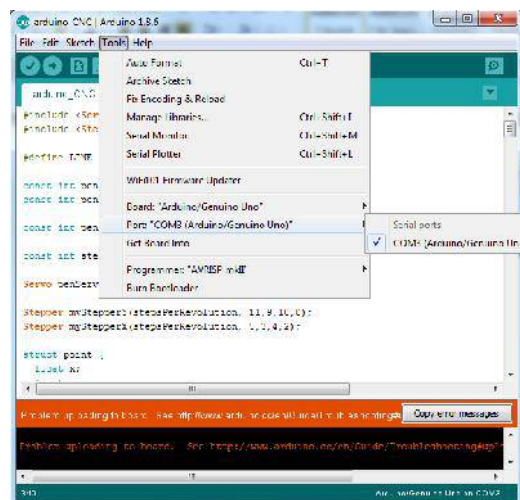
Kuning = Data



Gambar 4.20 Susunan kabel motor servo

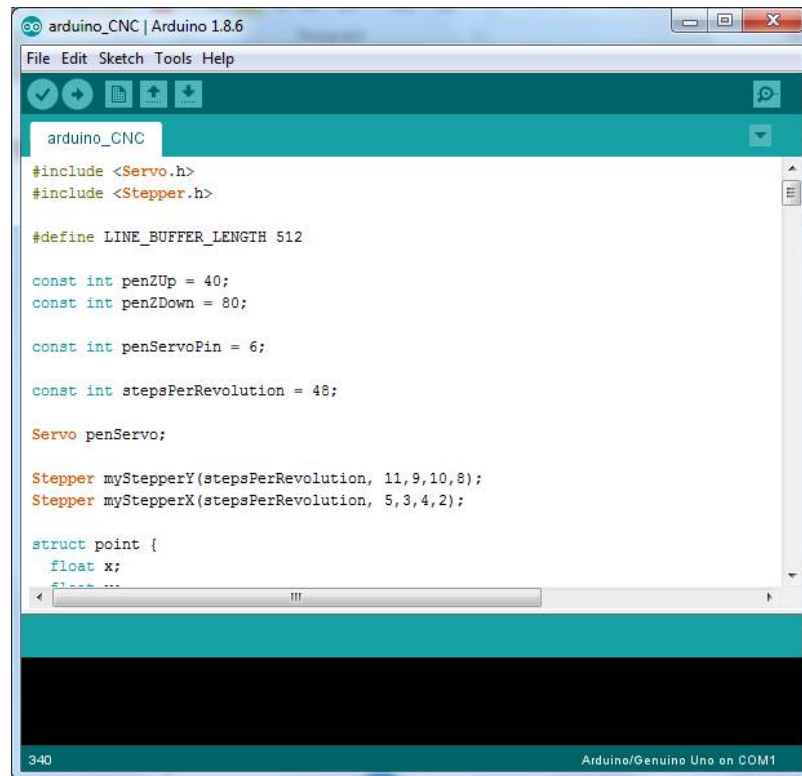
4.2 Rancangan Program

1. Sambungkan *Arduino* ke laptop lalu set *port Arduino* dengan cara pilih *Tab Tools* - lalu pilih *Port Arduino* seperti gambar dibawah ini :



Gambar 4.21 *Arduino Software*

2. Buat *coding* pada *software Arduino* :



```

arduino_CNC | Arduino 1.8.6
File Edit Sketch Tools Help
arduino_CNC
#include <Servo.h>
#include <Stepper.h>

#define LINE_BUFFER_LENGTH 512

const int penZUp = 40;
const int penZDown = 80;

const int penServoPin = 6;

const int stepsPerRevolution = 48;

Servo penServo;

Stepper myStepperY(stepsPerRevolution, 11, 9, 10, 8);
Stepper myStepperX(stepsPerRevolution, 5, 3, 4, 2);

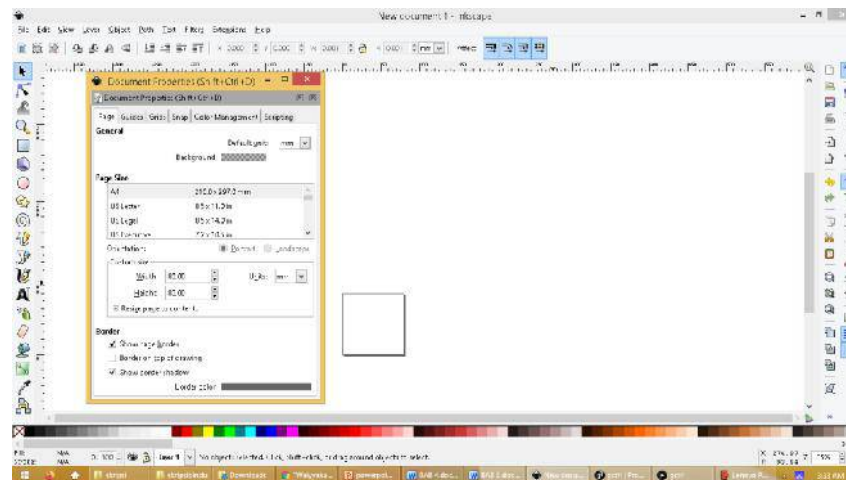
struct point {
  float x;
  float y;
};

340 Arduino/Genuino Uno on COM1

```

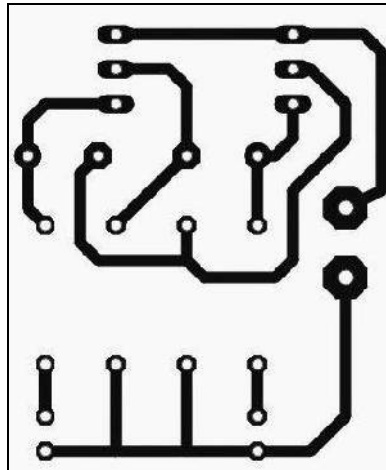
Gambar 4.22 Tampilan *coding* pada *Arduino*

3. Buka program Inkscape, sesuaikan luas bidang cetak dengan kemampuan prototipe mesin CNC mini



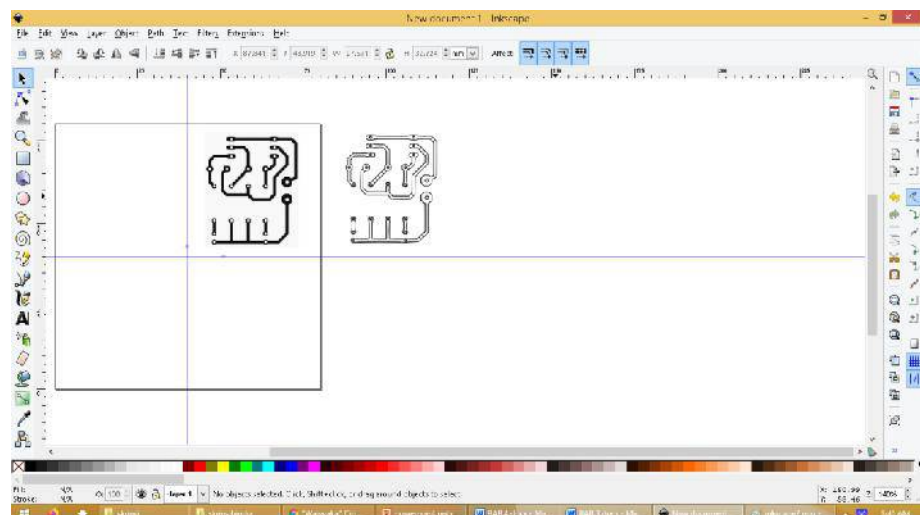
Gambar 4.23 Tampilan *document properties* Inkscape

- Pilih file pola PCB yang akan dikonversi (Jpg, Png) yang akan digunakan.



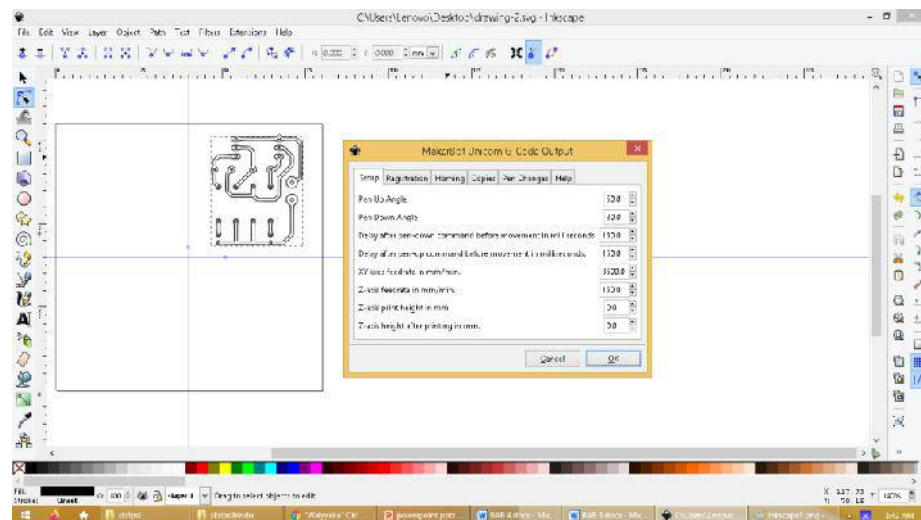
Gambar 4.24 pola PCB (lampu flip-flop) yang akan dikonversi

- Lakukan *trace Bitmap* pada gambar tersebut, untuk mendapatkan gambar pola yang sesuai dengan format gcode. Kemudian setelah format bitmap selesai, hapus file awal.



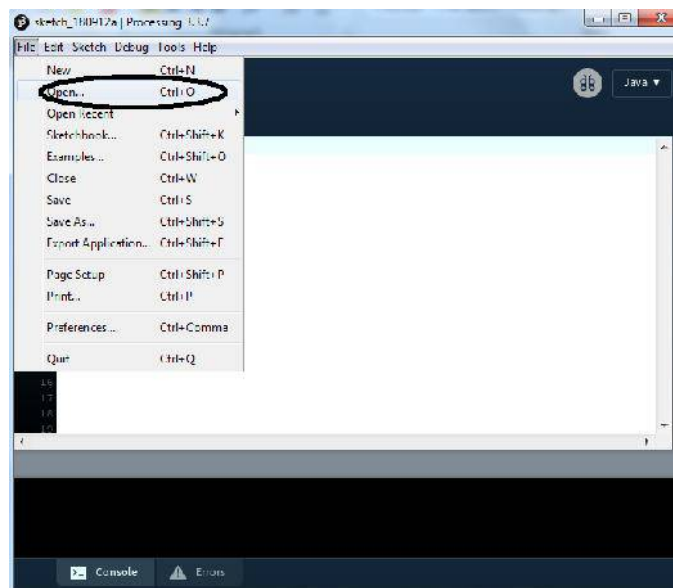
Gambar 4.25 proses Trace Bitmap pada Inkscape

6. Selanjutnya lakukan *“Object to Path”* pada gambar pola lalu diikuti dengan proses *“Dinamic Offset”*. Setelah kedua proses tersebut dilakukan maka simpan file sebagai *“MakerBot unicorn Gcode”*

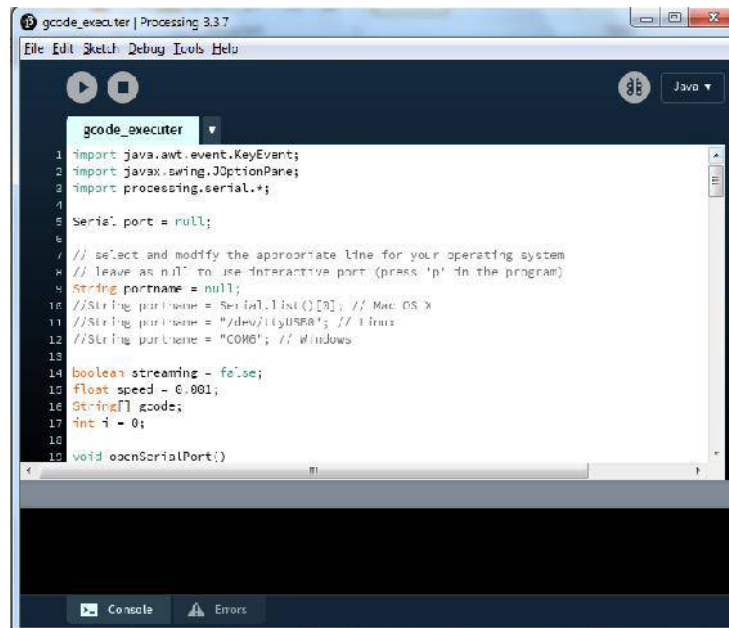


Gambar 4.26 tampilan Properties *“MakerBot unicorn Gcode”*

7. Setelah coding di upload, buka software processing lalu open coding G-Code yang telah dibuat pada aplikasi Inkscape.



Gambar 4.27 Tampilan software Processing




```

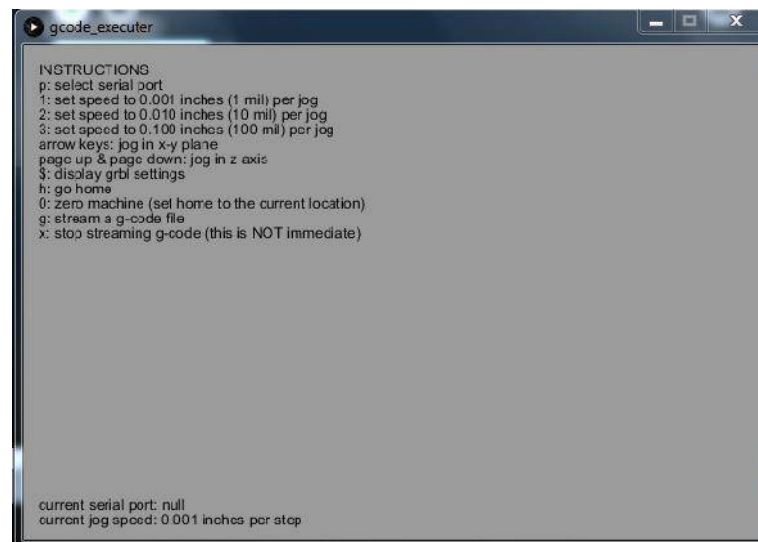
gcode_executer | Processing 3.3.7
File Edit Sketch Debug Tools Help

gcode_executer
1 import java.awt.event.KeyEvent;
2 import javax.swing.JOptionPane;
3 import processing.serial.*;
4
5 Serial port = null;
6
7 // select and modify the appropriate line for your operating system
8 // leave as null to use interactive port (press 'p' in the program)
9 String portname = null;
10 //String portname = Serial.list()[9]; // Mac OS X
11 //String portname = "/dev/ttyUSB0"; // Linux
12 //String portname = "COM6"; // Windows
13
14 boolean streaming = false;
15 float speed = 0.001;
16 String[] gcode;
17 int i = 0;
18
19 void openSerialPort()

```

Gambar 4.28 Tampilan Coding pada *Processing*

8. Masukkan Coding pada Processing
9. Klik  pada *Processing* maka akan muncul tampilan baru seperti gambar berikut.



```

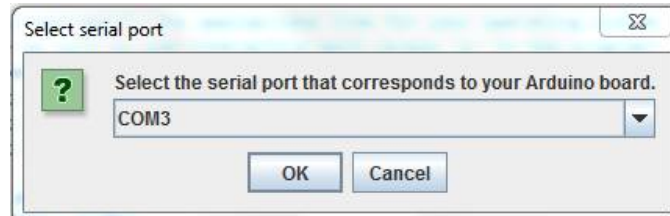
gcode_executer
INSTRUCTIONS
p: select serial port
1: set speed to 0.001 inches (1 mil) per jog
2: set speed to 0.010 inches (10 mil) per jog
3: set speed to 0.100 inches (100 mil) per jog
arrow keys: jog in x-y plane
page up & page down: jog in z axis
$: display grbl settings
h: go home
0: zero machine (set home to the current location)
g: stream a g-code file
x: stop streaming g-code (this is NOT immediate)

current serial port: null
current jog speed: 0.001 inches per step

```

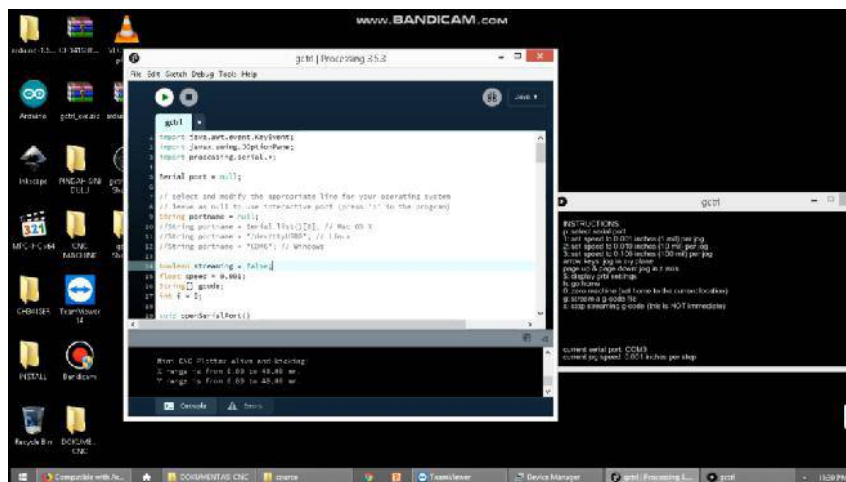
Gambar 4.29 Tampilan *G-Code Executer*

10. Ketik *P* : *Select Serial Port* maka akan muncul tampilan baru seperti pada gambar berikut.



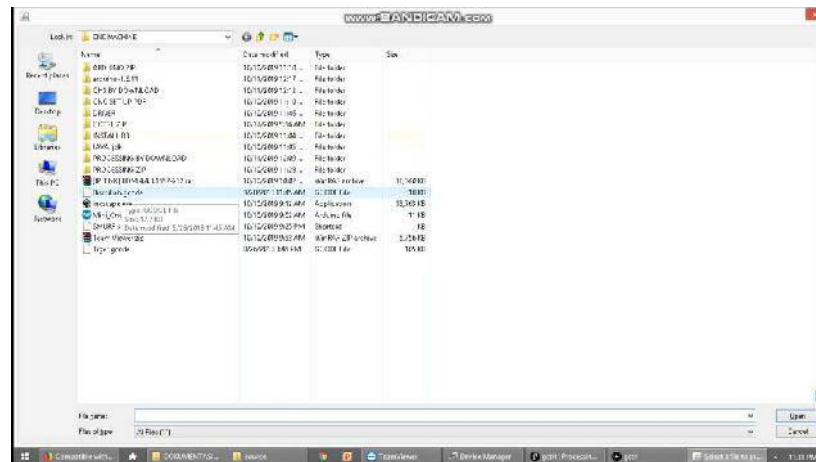
Gambar 4.30 Tampilan Port Arduino

11. Setelah *Port* dipilih maka klik *OK*.
12. Lalu tekan *0* : *Zero Machine*, Kalibrasi awal posisi pena



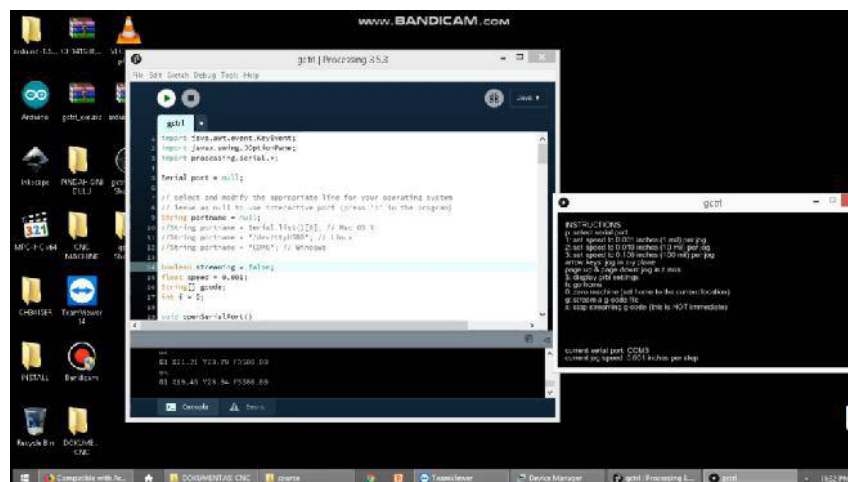
Gambar 4.31 Tampilan posisi prototipe mesin CNC siap untuk digunakan

13. Lalu ketik *G* : *Stream a G-Code file*, akan muncul tampilan sebagai berikut.



Gambar 4.32 Tampilan *open stream a G-Code file*

14. Pilih file yang akan dijalankan pada program *G-Code*, lalu mesin akan bekerja sesuai dengan gambar yang telah dipilih.



Gambar 4.33 Tampilan *stream a G-Code file*

15. Mesin akan berhenti setelah semua vektor di streaming oleh program processing.

The screenshot shows a Windows desktop with a Processing IDE window titled 'gcode | Processing 3.5.3'. The IDE contains the following G-code:

```

gcode
import java.awt.event.ActionEvent;
import javax.swing.JOptionPane;
import processing.serial.*;

Serial port = null;

// select and modify the appropriate line for your operating system
// leave as null to use interactive port (press "x" in the program)
String portName = null;

void setup() {
  size(400, 400);
  port = new Serial(this, portName, 115200);
}

void draw() {
  if (port != null) {
    while (port.available() > 0) {
      String line = port.readStringUntil('\n');
      if (line != null) {
        print(line);
      }
    }
  }
}

```

The serial monitor window shows the following output:

```

INSTRUCTIONS:
1. select serial port
2. set speed to 115200 bauds (115200 per sec)
3. set speed to 115200 bauds (115200 per sec)
4. set speed to 115200 bauds (115200 per sec)
5. set speed to 115200 bauds (115200 per sec)
6. set speed to 115200 bauds (115200 per sec)
7. stop whenever g-code (this is NOT immediate)

current serial port: COM5
current speed: 115200 bauds per sec

```

Gambar 4.34 Tampilan stream G-Code file yang telah selesai

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang dijelaskan pada bab-bab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa :

1. Prototipe mesin CNC yang diimplementasikan mampu menggambar pola PCB yang telah diinput ke dalam program *processing*.
2. Waktu yang dibutuhkan Prototipe mesin CNC untuk menggambar objek bergantung kepada tingkat kerumitan objek yang hendak digambarkan..
3. Prototipe mesin CNC ini dapat menggambar pola lain sesuai dengan keinginan penggunaannya.
4. Prototipe mesin CNC ini dapat menjadi solusi untuk masalah menggambar pada jalur *PCB* yang saat ini harus disablon dan membutuhkan waktu dan biaya yang tidak sedikit.
5. Proses pengaplikasian yang cukup mudah, membuat prototipe mesin CNC ini dapat digunakan dengan mudah. Pengguna hanya menginput gambar yang ingin digambar dengan prototipe mesin CNC ini lalu diproses dengan *software Processing* yang ada pada *G-Code* dan menunggu hasil yang dikerjakan oleh prototipe mesin CNC ini.

6. Tidak adanya pengaturan titik koordinat sumbu pada mesin, menyebabkan kinerja mesin kurang maksimal.
7. Proses awal menggambar pada mesin ini hanya mengandalkan kondisi *home* pada saat mesin mati.

5.2 Saran

Adapun saran-saran yang dapat di sampaikan kepada pembaca atau peneliti selanjutnya adalah .

1. Diharapkan peneliti selanjutnya dapat mengembangkan prototipe mesin CNC yang memiliki kecepatan menggambar yang lebih tinggi..
2. Diharapkan peneliti selanjutnya bisa menerapkan proses menggambar pada *dual-layer* (jalur timbal balik pada *PCB*).
3. Penelitian ini dapat di kembangkan lagi apabila ada kekurangan dengan menambahkan beberapa komponen-komponen yang dibutuhkan berdasarkan kebutuhan masing-masing.

DAFTAR PUSTAKA

- Andika, Raksi (2017). Rancang Bangun Mesin Computer Numerically Controlled untuk Menggambar Teks Pada Papan Acrylic Berbasis Arduino. Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.
- Dharmawan, Hari Arief (2017). Mikrokontroller Sifat Dasar dan Praktis. UB Press – Malang.
- Fachri, barany, agus perdana windarto, and ikhsan parinduri. "penerapan backpropagation dan analisis sensitivitas pada prediksi indikator terpenting perusahaan listrik." jepin (jurnal edukasi dan penelitian informatika) 5.2 (2019): 202-208.
- Fachri, b., windarto, a. P., & parinduri, i. (2019). Penerapan backpropagation dan analisis sensitivitas pada prediksi indikator terpenting perusahaan listrik. Jepin (jurnal edukasi dan penelitian informatika), 5(2), 202-208.
- Fachri, barany; windarto, agus perdana; parinduri, ikhsan. Penerapan backpropagation dan analisis sensitivitas pada prediksi indikator terpenting perusahaan listrik. Jepin (jurnal edukasi dan penelitian informatika), 2019, 5.2: 202-208
- Hamdi, nurul. "model penyiraman otomatis pada tanaman cabe rawit berbasis programmable logic control." jurnal ilmiah core it: community research information technology 7.2 (2019)
- Kadir, Album (2017). Pemrograman Arduino dan Processing. Elex Media Komputindo
- Nayomi, Hanum (2013). Peluang Pemanfaatan Lampu LED Sebagai Sumber Penerangan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
- Permana, aminuddin indra. "kombinasi algoritma kriptografi one time pad dengan generate random keys dan vigenere cipher dengan kunci em2b." (2019).
- Putra, randi rian. "sistem informasi web pariwisata hutan mangrove di kelurahan belawan sicanang kecamatan medan belawan sebagai media promosi." jurnal ilmiah core it: community research information technology 7.2 (2019).
- Putra, randi rian, et al. "decision support system in selecting additional employees using multi-factor evaluation process method." (2019).

- Putra, randi rian. "implementasi metode backpropagation jaringan saraf tiruan dalam memprediksi pola pengunjung terhadap transaksi." *jurti (jurnal teknologi informasi)* 3.1 (2019): 16-20.
- Saputra, muhammad juanda, and nurul hamdi. "rancang bangun aplikasi sejarah kebudayaan aceh berbasis android studi kasus dinas kebudayaan dan pariwisata aceh." *journal of informatics and computer science* 5.2 (2019): 147-157
- Sidik, a. P., efendi, s., & suherman, s. (2019, june). Improving one-time pad algorithm on shamir's three-pass protocol scheme by using rsa and elgamal algorithms. In *journal of physics: conference series* (vol. 1235, no. 1, p. 012007). Iop publishing.
- Sitepu, n. B., zarlis, m., efendi, s., & dhany, h. W. (2019, august). Analysis of decision tree and smooth support vector machine methods on data mining. In *journal of physics: conference series* (vol. 1255, no. 1, p. 012067). Iop publishing
- Sugiyono (2013). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta. – Bandung.
- Suh, Suk Hwan. Kang, Seong Kyoon. Chung, Dae Hyuk. Stroud, Ian. (2008). *Theory and Design of CNC Systems*, Springer – London.
- Syahwil, Muhammad (2017). *Panduan Mudah Belajar Arduino Menggunakan Simulasi Proteus*. ANDI – Yogyakarta.
- Tasril, v., wijaya, r. F., & widya, r. (2019). Aplikasi pintar belajar bimbingan dan konseling untuk siswa sma berbasis macromedia flash. *Jurnal informasi komputer logika*, 1(3).
- Trianto (2005). Pengertian Motor Stepper. <http://bukan-sekedar-tahu.blogspot.com/2011/10/pengertian-motorstepper.html>. dilihat pada 29 Juni 2017.
- Yagusandri, Ariel (2011). *Rancang Bangun Prototype Sistem Aktuator Sirip Roket Menggunakan Motor Servo*, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.