

## RANCANG BANGUN MESIN PENGEBOR PCB MINI OTOMATIS BERBASIS ARDUINO UNO

### Mukhofidhoh

Teknik Elektro, Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail : [mukhofidhoh7@gmail.com](mailto:mukhofidhoh7@gmail.com)

### Nur Kholis

Teknik Elektro, Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail : [Kholisunesa@yahoo.com](mailto:Kholisunesa@yahoo.com)

### Abstrak

PCB (*Printed Circuit Board*) merupakan suatu instrument penting dalam dunia rancang bangun rangkaian elektronika dimana kumpulan beberapa komponen elektronika yang dapat menjalankan suatu sistem tertentu terdapat didalamnya. Mesin pengebor PCB mini otomatis ini dapat bergerak dengan 3 gerak yaitu, arah X,Y, dan Z. Penelitian ini digunakan untuk meminimalisir kesalahan pengeboran apabila dilakukan secara manual. Sistem ini menggunakan motor servo dan motor stepper sebagai aksis x, y dan z dimana mekanik akan bergerak sesuai dengan *file* yang dikirimkan melalui mikrokontroler Arduino Uno ke *Driver* motor L293D dan motor servo. Hasil pengujian mesin pengebor PCB dapat melakukan 200 titik pengeboran dalam jangka waktu 1.770 detik. Sehingga dapat disimpulkan dalam 1 menit mesin ini dapat melakukan 6 titik pengeboran dikarenakan batasan delay. Pergerakan jarak antar 2 titik dapat mendeteksi pergerakan dengan selisih 1 mm dengan tingkat error rata-rata sebesar 2% dari 100 jarak yang dihasilkan dan error rata-rata dari titik koordinat sebesar 1% dari 200 titik pengeboran.

**Kata Kunci:** Mesin Pengebor PCB, Eagle, FlatCam, Processing, Arduino Uno.

### Abstract

PCB (*Printed Circuit Board*) is an important instrument in the world of electronics circuit design where a collection of some electronic components that can run a particular system is contained there. This mini PCB automatic drill machine can move with 3 movements of the directions of X, Y, and Z. This research is used to minimize drilling errors if it is done manually. This system uses servo motor and stepper motors as x, y and z axis where the mechanics will move according to the *files* transmitted through the Arduino Uno microcontroller to the L293D motor *driver* and servo motor. The test results of PCB drill machine can do 200 points of drilling within 1770 seconds. It can be concluded in 1 minute this machine can do 6 points of drilling due to delay constraint. Movement of distance between 2 points can detect movement by 1 mm difference with an average error rate of 2% of the 100 resulting distances and an average error rate of the coordinate point of 1% of the 200 drilling points.

**Keyword:** PCB Drilling Machine, Eagle, FlatCam, Processing, Arduino Uno.

### PENDAHULUAN

PCB (*Printed Circuit Board*) merupakan suatu *instrument* penting dalam dunia rancang bangun rangkaian elektronika dimana kumpulan beberapa komponen elektronika yang dapat menjalankan suatu sistem tertentu terdapat didalamnya. Pengeboran lubang merupakan proses yang menentukan pola peletakan komponen pada PCB, semakin kompleks suatu rangkaian maka lubang komponen akan semakin banyak, sehingga bisa terjadi kesalahan dimana ada beberapa titik yang tidak dibor apabila dilakukan secara manual. Salah satu mesin yang banyak digunakan oleh industri elektronika adalah mesin bor PCB dimana mesin bor PCB adalah mesin bor PCB otomatis yang mana pengoperasiannya dikendalikan oleh program komputer.

Mesin pengebor PCB mini berbasis arduino uno ini dapat bergerak dengan 3 gerakan yaitu arah x, y, dan z. Alat ini menggunakan motor servo dan motor stepper sebagai aksis x, y dan z. dimana mekanik akan bergerak sesuai dengan *file* yang dikirimkan melalui mikrokontroler Arduino Uno ke *Driver* motor L293D dan motor servo. *file* yang dikirimkan berasal dari data *layout* PCB dari *software* Eagle yang telah dirubah menjadi *file* excellon yang kemudian dikirimkan ke *software* FlatCam untuk dirubah menjadi *file* .NC dan untuk eksekusi *file* Gcode ke mikrokontroler Arduino Uno maka dibutuhkan *software* Processing untuk mengirimkannya.

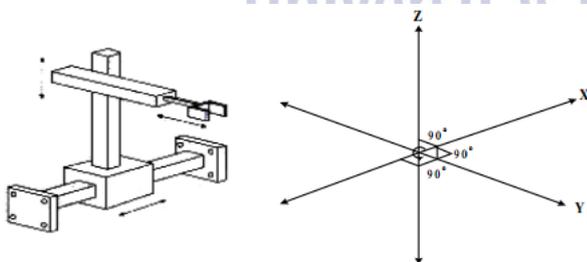
Berbagai macam penelitian yang mendukung tentang rancang bangun mesin pengebor PCB otomatis telah dikembangkan oleh M.Yudha dan Zaldy (2015)

pada skripsinya yang berjudul “Mesin Pengebor *Printed Circuit Board* (PCB) Otomatis” perancangan dan pembuatan mesin bor dikendalikan dengan menggunakan sebuah mikrokontroler ATmega128, dimana posisi titik pengeboran diatur melalui sebuah aplikasi antarmuka yang terinstal pada sebuah komputer. Penelitian yang sama dilakukan oleh Kadal,dkk (2016) pada jurnalnya yang berjudul “*Automatic mini CNC machine for PCB drawing and drilling*” pengaturan *hardware* dengan kombinasi G-code memberikan akurasi yang lebih baik dan mengurangi beban pekerjaan. G-code mempermudah pencarian informasi lokasi dari semua perubahan motor stepper. Penelitian yang sama juga dilakukan oleh Kulkarni,dkk (2016) pada jurnalnya yang berjudul “*Arduino Based 3Axis PCB Drilling Machine*” diimplementasikan menggunakan kontroler arduino, CNC router dan *software open-source* untuk mengendalikan seluruh operasi. Motor stepper dihubungkan ke kontroler Arduino, motor stepper digunakan digunakan untuk memindahkan PCB di sumbu x, y, dan z. Dari penelitian-penelitian diatas, alat ini dibuat dengan tanpa melakukan penambahan komponen pendukung seperti *converter* serial ke USB, selain itu dibuat lebih mini dan lebih terjangkau dari penelitian yang sudah ada.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Kartesian Koordinat Robot

Kartesian koordinat robot (biasa juga disebut dengan robot *linear*) adalah sebuah robot industri dengan tiga sumbu utama dari kontrol yang *linear* (bergerak dalam garis lurus daripada rotasi) dan berada pada sudut yang tepat untuk masing-masingnya. Robot dengan mekanisme jenis ini tersusun atas beberapa sambungan prismatic (*orthogonal slide*) dan sumbu utama yang tidak berputar, masing-masing sumbu dapat bergerak ke area sumbu x-y-z. Bagian utama robot tipe ini terdiri dari tiga aksis pergerakan linear seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Koordinat robot kartesian dan *working envelope*-nya.

### Arduino Uno

Arduino adalah pengendali mikro *single-board* yang bersifat *open-source*, yang dirancang untuk

memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. *Hardware* (perangkat keras)-nya memiliki prosesor Atmel AVR dan *software* (perangkat lunak)-nya memiliki bahasa pemrograman tersendiri. *Open-source* IDE yang digunakan untuk membuat aplikasi mikrokontroler yang berbasis *platform* arduino.

Mikrokontroler itu sendiri adalah chip atau IC (*integrated circuit*) yang bisa diprogram menggunakan komputer. Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca *input*, memproses *input* tersebut dan kemudian menghasilkan *output* seperti yang diinginkan.

### Motor Stepper

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 kearah yang diinginkan, apakah searah jarum jam atau sebaliknya.

Motor stepper dapat berputar dan berotasi dengan sudut *step* yang bisa bervariasi tergantung motor yang digunakan. 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.

### Motor Servo

Motor servo adalah sebuah motor DC dengan sistem umpan balik tertutup dimana posisi rotor-nya akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada didalam motor servo. Motor servo adalah motor yang mampu bekerja dua arah (CW dan CCW) dimana arah dan sudut pergerakan *rotor*-nya dapat dikendalikan dengan memberikan variasi lebar pulsa (*duty cycle*) sinyal PWM pada bagian pin kontrolnya. Tampilan dari motor servo dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Motor servo

### Motor DC

Motor DC adalah motor listrik yang memerlukan suplai tegangan arus searah pada kumparan medan

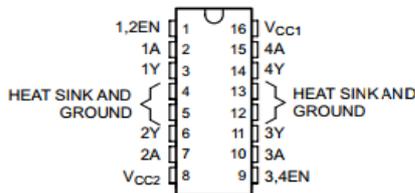
untuk diubah menjadi energi gerak mekanik. Kumparan medan pada motor DC disebut *stator* (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut *rotor* (bagian yang berputar). Motor DC sebagaimana namanya menggunakan arus langsung yang tidak langsung (*direct-unidirectional*). Tampilan dari motor DC dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Motor DC.

### IC L293D

IC L293D merupakan rangkaian penggerak motor DC yang sangat sederhana dan dapat digunakan untuk mengontrol 2 unit motor DC secara PWM maupun dengan logika TTL. Motor DC yang dikontrol dengan driver IC L293D dapat dihubungkan ke *ground* maupun ke sumber tegangan positif karena didalam driver L293D sistem driver yang digunakan adalah totem pool. Kontruksi pin driver motor DC IC L293D dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kontruksi pin driver motor DC IC L293D.

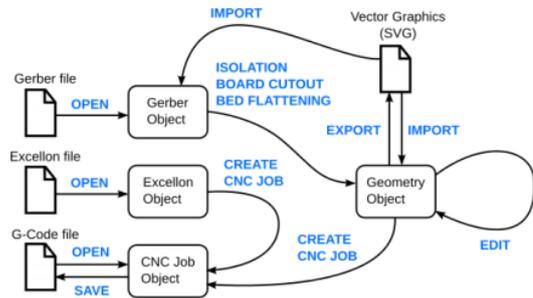
### Software CAD Eagle

Eagle merupakan singkatan dari *Easily Applicable Graphical Layout Editor*. Eagle merupakan salah satu *software* komputer yang dapat digunakan untuk merancang skematik dan PCB (*printed circuit board*) dari rangkaian elektronika. Tujuan utama dari penggunaan Cadsoft Eagle adalah untuk menciptakan desain PCB. Eagle memungkinkan untuk merancang PCB dengan atau tanpa melalui desain skematik.

### Software FlatCam

FlatCam adalah program untuk mempersiapkan pekerjaan CNC untuk membuat PCB pada router CNC. FlatCam dapat mengambil *file* gerber yang dihasilkan oleh program CAD PCB, dan menciptakan Gcode untuk isolasi routing. Gambar 5 menggambarkan hubungan antara *file* dan objek. Panah menghubungkan objek yang

merupakan sub-set dari tugas-tugas yang dapat dilakukan dalam FlatCam.



Gambar 5. Hubungan antara file dan objek pada FlatCam.

### Software Processing

*Software Processing* adalah bahasa pemrograman komputer *open-source* dan *integrated development environment* (IDE) yang dibangun dengan tujuan mengajarkan dasar-dasar pemrograman komputer dalam konteks visual. *Software processing* digunakan untuk mengirim *file* G-Code ke *hardware* terintegrasi interpreter (ATmega 328). *Software* ini akan mengambil program G-Code yang ada dalam file dan mengirimkannya *line-by-line* ke mikrokontroler ATmega328. G-Code akan mengirimkan lewat port serial melalui komunikasi USB antara komputer dan mikrokontroler.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Rancangan Penelitian

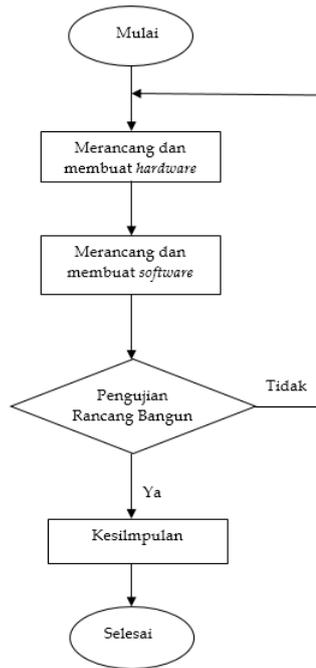
Awal penelitian akan dilakukan melalui studi literatur dengan mengumpulkan sumber-sumber jurnal nasional dan internasional sebagai referensi. Setelah itu akan dirancang dan diuji coba rancangan alat. Setelah berhasil akan dilakukan implementasi alat yang bisa di uji coba secara langsung sebagaimana kinerja dan hasil dari rancang banguing mesin pengebor PCB mini otomatis berbasis arduino uno tersebut.

### Waktu dan Tempat Penelitian

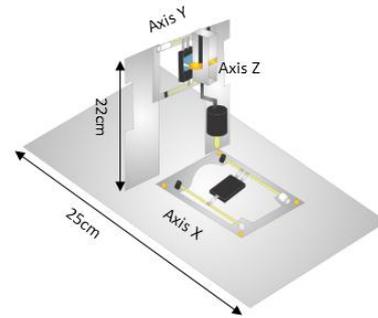
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mikroprocessor Teknik Elektro Universitas Negeri Surabaya dan waktu pelaksanaannya dilakukan pada semester genap 2016/2017.

### Tahap Perancangan Alat

Pada Gambar 6. Dijelaskan *flowchart* alur tahap-tahap penelitian dimulai dengan perancangan dan pembuatan *hardware*, dilanjutkan dengan perancangan dan pembuatan *software*, pengujian alat setelah itu sampai dengan kesimpulan.



Gambar 6. Alur tahap penelitian.



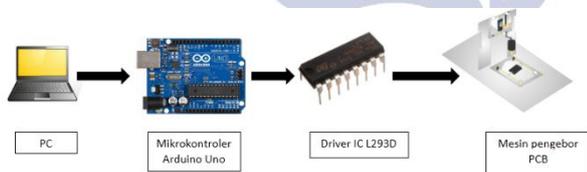
Gambar 8. Mekanik dari rancang bangun mesin pengebor PCB mini berbasis arduino uno.

### Rangkaian Driver Motor IC L293D dan Arduino Uno

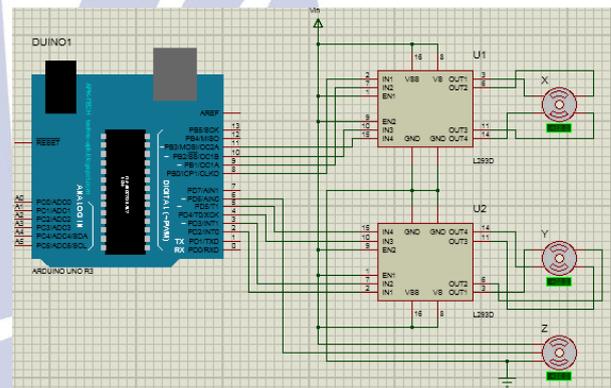
Rangkaian *driver* motor IC L293D digunakan untuk menggerakkan motor stepper sumbu x dan y. Pada Gambar 9 mendeskripsikan pengkabelan pada arduino uno, *driver* motor L293D, motor servo dan motor stepper.

### Blok Diagram

Blok diagram ini terdiri dari beberapa bagian antara lain PC, mikrokontroller arduino uno, *driver* motor L293D serta mesin pengebor PCB. Blok diagram dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Blok diagram rancang bangun mesin pengebor PCB mini berbasis arduino uno.



Gambar 9. Skema rangkaian driver motor IC L293D dan arduino uno.

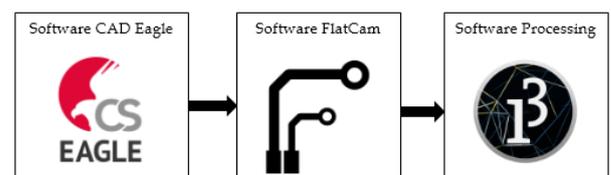
PC digunakan untuk membuat dan mengirimkan *file* Gcode yang berisi titik koordinat pengeboran, mikrokontroler arduino uno akan menginstruksikan pada *driver* motor IC L293D untuk menggerakkan motor stepper sumbu x dan y dan menginstruksikan motor servo untuk bergerak sebagai sumbu z pada mesin pengebor PCB sesuai dengan *file* Gcode.

### Perancangan Mekanik

Mekanik dari alat ini memiliki 3 sumbu prismatik yaitu sumbu x, y, dan z. Seperti pada Gambar 8. Sumbu x dan y menggunakan motor stepper dan sumbu z menggunakan motor servo. Motor stepper sumbu x digunakan untuk menggerakkan papan PCB dan motor stepper sumbu digunakan untuk menggerakkan motor servo dan alat pengebor PCB. Motor servo digunakan untuk menaikkan dan menurunkan alat pengebor PCB.

### Perancangan Software

Didalam perancangan *software* alat ini terdapat 4 *software* yang dijalankan, antara lain: Arduino IDE, Eagle, FlatCam, dan Processing. Gambar 10. Merupakan prosedur *software* dari Eagle, FlatCam dan Processing.



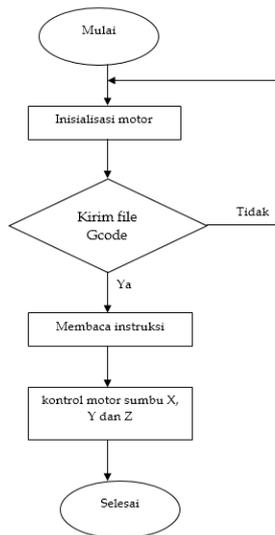
Gambar 10. Prosedur *software*.

Arduino IDE digunakan sebagai otak pemrograman untuk alat ini. *Software* CAD Eagle digunakan untuk membuat titik pengeboran dan merubahnya menjadi *file* excellon, *software* FlatCam

digunakan untuk menghasilkan *file* Gcode dan *software* Processing untuk mengirimkan *file* Gcode ke mikrokontroler arduino uno lewat port serial melalui komunikasi USB.

**Pengujian Alat**

Berikut *flowchart* pengujian dilakukan melalui beberapa tahapan seperti pada Gambar 11. Motor pada sumbu x, y dan z akan diinisialisasi, processing mengirimkan Gcode pada arduino uno dan mikrokontroler arduino uno akan membaca instruksi dari *file* Gcode yang telah dikirimkan dan mulai mengontrol motor stepper pada sumbu x, y dan motor servo pada sumbu z untuk bergerak sesuai dengan instruksi yang diberikan untuk mengebor PCB.

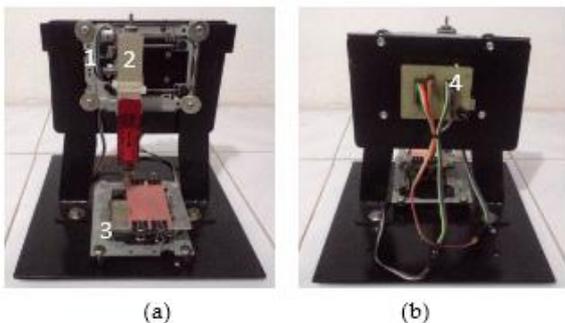


Gambar 11. *Flowchart* pengujian.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Perancangan dan Pembuatan MesinPengebor PCB Mini Otomatis Berbasis Arduino Uno**

Gambar alat ini dapat dilihat pada Gambar 12. Bentuk alat dengan panjang 25 cm, lebar 25 cm dan tinggi 22cm.



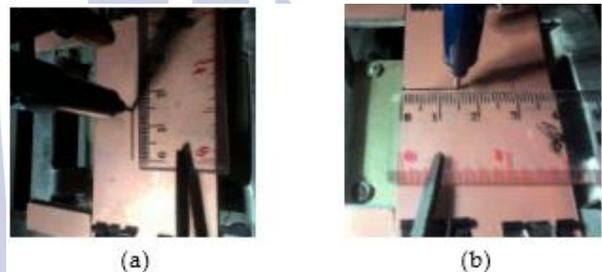
Gambar 12. (a) Gambar tampak depan mesin pengebor PCB (b) Gambar tampak belakang mesin pengebor PCB.

Keterangan:

1. Motor stepper sumbu Y.
2. Motor servo sumbu Z.
3. Motor stepper sumbu X.
4. Mikrokontroler arduino uno dan rangkaian motor driver IC L293D.

**Pengujian Motor Stepper Sumbu X dan Sumbu Y**

Untuk kalibrasi pada motor stepper agar dapat menghasilkan keluaran yang sama dengan *file* Gcode maka motor dijalankan sebanyak 100 *step* dan didapatkan garis sepanjang 1.5 cm seperti dapat dilihat pada Gambar 13, sehingga untuk mendapatkan 1 mm sama dengan 1 *step* maka 100 *step* dibagi dengan 15 (didapatkan dari 1.5 cm dirubah ke 15 mm), setelah itu hasil dari pembagian tersebut akan dikalikan dengan *file* Gcode pada masing-masing sumbu X dan Y untuk mendapatkan *step* sumbu X dan Y.



Gambar 13. (a) Hasil pengujian motor stepper sumbu X (b) Hasil pengujian motor stepper sumbu Y.

**Hasil Pengujian dan Analisis Kinerja**

Tabel 1. Hasil pengujian lamanya waktu pengeboran titik koordinat.

No.	Titik koordinat	Lamanya waktu pengeboran
1	X2Y1	9 detik
2	X2Y3	9 detik
3	X2Y5	9 detik
4	X2Y7	8 detik
5	X2Y9	8 detik
6	X2Y11	10 detik
7	X2Y13	8 detik
8	X2Y15	9 detik
9	X2Y17	8 detik
10	X2Y19	10 detik
11	X21Y19	9 detik
12	X20Y17	8 detik
13	X19Y15	9 detik
14	X18Y13	10 detik
15	X17Y11	10 detik
16	X16Y9	8 detik
17	X15Y7	9 detik
18	X14Y5	9 detik
19	X13Y3	8 detik
20	X12Y1	9 detik

Pada 10 kali percobaan pada papan PCB dengan tiap PCB terdapat 20 titik koordinat pengeboran. Maka, banyaknya waktu yang ditempuh 1 titik pengeboran adalah sebagai berikut:

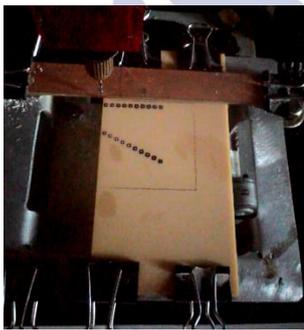
$$x = \frac{\text{jumlah waktu pengeboran}}{\text{jumlah titik pengeboran}} = 8.85 \text{ detik ... (1)}$$

Banyaknya titik pengeboran dalam 1 menit adalah sebagai berikut:

$$\text{banyaknya titik dalam 1 menit} = \frac{60}{8.85} = 6.7779 \text{ (2)}$$

$6.7779 \approx 6$  titik

Dari Tabel 1, dapat dilihat pengujian kinerja dari alat ini dapat menghasilkan 200 titik koordinat pengeboran selama 1770 detik sehingga dapat disimpulkan (sesuai persamaan 1 dan 2) dalam 1 menit alat ini dapat melakukan pengeboran sebanyak 6 titik koordinat. Efek yang mempengaruhi dari banyaknya titik yang dihasilkan adalah delay pergeseran sumbu X dan Y, delay naik turunnya sumbu Z serta jalannya pergerakan sumbu X dan Y yang sudah ditentukan melalui software FlatCam. Proses pengeboran PCB dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Proses pengeboran PCB.

**Hasil dari Pengeboran PCB**

Tabel 2. Hasil pengujian jarak pada titik-titik koordinat.

No.	Jarak yang diharapkan	Jarak yang dihasilkan	Error (%)
PCB ke-1			
1	1 cm	0.9 cm	100%
2	1.1 cm	1.1 cm	0%
3	1.2 cm	1.2 cm	0%
4	1.3 cm	1.3 cm	0%
5	1.4 cm	1.4 cm	0%
6	1.5 cm	1.5 cm	0%
7	1.6 cm	1.6 cm	0%
8	1.7 cm	1.7 cm	0%
9	1.8 cm	1.8 cm	0%
10	1.9 cm	1.9 cm	0%
PCB ke-2,3,4,5,6,8,9, dan 10			
11	1 cm	1 cm	0%
12	1.1 cm	1.1 cm	0%
13	1.2 cm	1.2 cm	0%

Tabel 2. Hasil pengujian jarak pada titik-titik koordinat.(Lanjutan).

No.	Jarak yang diharapkan	Jarak yang dihasilkan	Error (%)
14	1.3 cm	1.3 cm	0%
15	1.4 cm	1.4 cm	0%
16	1.5 cm	1.5 cm	0%
17	1.6 cm	1.6 cm	0%
18	1.7 cm	1.7 cm	0%
19	1.8 cm	1.8 cm	0%
20	1.9 cm	1.9 cm	0%
PCB ke-7			
21	1 cm	1 cm	0%
22	1.1 cm	1.1 cm	0%
23	1.2 cm	1.2 cm	0%
24	1.3 cm	1.3 cm	0%
25	1.4 cm	1.4 cm	0%
26	1.5 cm	1.5 cm	0%
27	1.6 cm	1.6 cm	0%
28	1.7 cm	1.7 cm	0%
29	1.8 cm	1.8 cm	0%
30	1.9 cm	1.8 cm	100%

$$\text{error rata - rata} = \frac{\text{banyaknya kesalahan jarak}}{\text{jumlah jarak yang diukur}} \times 100 \text{ (3)}$$

$\text{error rata - rata} = 2\%$

Dari Tabel 2, jarak yang dihasilkan oleh alat ini dinyatakan baik dikarenakan dapat mendeteksi pergerakan jarak dengan selisih 1 mm dan didapatkan tingkat kesalahan (*error*) rata-rata sebesar 2% (sesuai dengan persamaan 3) dengan kesalahan pengukuran jarak sebanyak 2 kali dari 100 jarak yang diukur.

Tabel 3. Hasil pengujian ketepatan titik koordinat pada titik-titik pengeboran PCB.

No.	Titik koordinat pada layout		Titik koordinat yang dihasilkan		Error (%)
	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu X	Sumbu Y	
PCB ke-1					
1	2 mm	1 mm	3 mm	1 mm	100%
2	2 mm	3 mm	2 mm	3 mm	0%
3	2 mm	5 mm	2 mm	5 mm	0%
4	2 mm	7 mm	2 mm	7 mm	0%
5	2 mm	9 mm	2 mm	9 mm	0%
6	2 mm	11 mm	2 mm	11 mm	0%
7	2 mm	13 mm	2 mm	13 mm	0%
8	2 mm	15 mm	2 mm	15 mm	0%
9	2 mm	17 mm	2 mm	17 mm	0%
10	2 mm	19 mm	2 mm	19 mm	0%
11	21 mm	19 mm	21 mm	19 mm	0%
12	20 mm	17 mm	20 mm	17 mm	0%
13	19 mm	15 mm	19 mm	15 mm	0%
14	18 mm	13 mm	18 mm	13 mm	0%
15	17 mm	11 mm	17 mm	11 mm	0%
16	16 mm	9 mm	16 mm	9 mm	0%

Tabel 3. Hasil pengujian ketepatan titik koordinat pada titik-titik pengeboran PCB (Lanjutan).

No.	Titik koordinat pada layout		Titik koordinat yang dihasilkan		Error (%)
	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu X	Sumbu Y	
17	15 mm	7 mm	15 mm	7 mm	0%
18	14 mm	5 mm	14 mm	5 mm	0%
19	13 mm	3 mm	13 mm	3 mm	0%
20	12 mm	1 mm	12 mm	1 mm	0%
PCB ke-2,3,4,5,6,8,9, dan 10					
21	2 mm	1 mm	2 mm	1 mm	0%
22	2 mm	3 mm	2 mm	3 mm	0%
23	2 mm	5 mm	2 mm	5 mm	0%
24	2 mm	7 mm	2 mm	7 mm	0%
25	2 mm	9 mm	2 mm	9 mm	0%
26	2 mm	11 mm	2 mm	11 mm	0%
27	2 mm	13 mm	2 mm	13 mm	0%
28	2 mm	15 mm	2 mm	15 mm	0%
29	2 mm	17 mm	2 mm	17 mm	0%
30	2 mm	19 mm	2 mm	19 mm	0%
31	21 mm	19 mm	21 mm	19 mm	0%
32	20 mm	17 mm	20 mm	17 mm	0%
33	19 mm	15 mm	19 mm	15 mm	0%
34	18 mm	13 mm	18 mm	13 mm	0%
35	17 mm	11 mm	17 mm	11 mm	0%
36	16 mm	9 mm	16 mm	9 mm	0%
37	15 mm	7 mm	15 mm	7 mm	0%
38	14 mm	5 mm	14 mm	5 mm	0%
39	13 mm	3 mm	13 mm	3 mm	0%
40	12 mm	1 mm	12 mm	1 mm	0%
PCB ke-7					
41	2 mm	1 mm	2 mm	1 mm	0%
42	2 mm	3 mm	2 mm	3 mm	0%
43	2 mm	5 mm	2 mm	5 mm	0%
44	2 mm	7 mm	2 mm	7 mm	0%
45	2 mm	9 mm	2 mm	9 mm	0%
46	2 mm	11 mm	2 mm	11 mm	0%
47	2 mm	13 mm	2 mm	13 mm	0%
48	2 mm	15 mm	2 mm	15 mm	0%
49	2 mm	17 mm	2 mm	17 mm	0%
50	2 mm	19 mm	3 mm	19 mm	100%
51	21 mm	19 mm	21 mm	19 mm	0%
52	20 mm	17 mm	20 mm	17 mm	0%
53	19 mm	15 mm	19 mm	15 mm	0%
54	18 mm	13 mm	18 mm	13 mm	0%
55	17 mm	11 mm	17 mm	11 mm	0%
56	16 mm	9 mm	16 mm	9 mm	0%
57	15 mm	7 mm	15 mm	7 mm	0%
58	14 mm	5 mm	14 mm	5 mm	0%
59	13 mm	3 mm	13 mm	3 mm	0%
60	12 mm	1 mm	12 mm	1 mm	0%

$$\text{error rata - rata} = \frac{\text{banyaknya kesalahan titik pengeboran}}{\text{jumlah titik pengeboran}} \times 100.. (4)$$

error rata - rata = 1%

Dari Tabel 3, ketepatan titik koordinat yang dihasilkan dikatakan baik dikarenakan sesuai dengan titik koordinat pada layout *software* Eagle dan memiliki tingkat kesalahan (*error*) rata-rata sebedar 1% (sesuai dengan persamaan 4) yaitu kesalahan pengeboran 2 titik koordinat dari 200 titik koordinat pengeboran.

**PENUTUP**

**Kesimpulan**

Dari hasil analisis yang dilakukan, beberapa hal yang dapat disimpulkan sebagai berikut, alat dapat bekerja dengan baik dengan melakukan pengeboran secara otomatis dengan masukan *file* Gcode dan keluaran yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan. Alat dapat melakukan 200 titik pengeboran dalam jangka waktu 1770 detik, sehingga dalam 1 detik alat dapat melakukan 6 titik pengeboran. Jarak yang dihasilkan antara 2 titik pengeboran dinyatakan baik dikarenakan alat dapat mendeteksi pergerakan jarak dengan selisih 1 mm serta dengan tingkat kesalahan (*error*) rata-rata sebesar 2% dari 100 jarak yang dihasilkan. Titik koordinat yang dihasilkan juga dapat dikatakan sesuai dengan titik koordinat pada layout *software* Eagle dengan tingkat kesalahan (*error*) rata-rata sebesar 1% dari 200 titik pengeboran.

**Saran**

Alat yang telah dibuat pada penelitian kali ini, diharapkan dapat digunakan untuk meminimalisir tingkat *error* yang disebabkan oleh pengerjaan manual. Sehingga untuk kedepannya penelitian ini tidak hanya dilakukan pada skala kecil (ukuran PCB yang kecil), tetapi juga pada skala besar (ukuran PCB yang besar) serta untuk mendapatkan hasil yang maksimal diperlukan pengembangan dari segi mekanik.

**DAFTAR PUSTAKA**

Bharat P, Kulkarni, Mali Priyadarshani S, Mali Shiprasad S, Sutar Raghavendra R. 2016. "Arduino Based 3 Axis PCB Drilling Machine". *International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research*. Vol. 4 (6): hal. 255-259.

Caram, Juan P. 2014. FlatCam: PCB Prototyping CAD/CAM, (Online), (<http://flatcam.org/>, diakses 06 Januari 2017).

Farooque, Shaikh Noor, Ansari Mohammed Faizan, Javed Shaikh, Pragati Pal. 2015. "Automated Pcb Drilling Machine With Efficient Path Planning". *International Journal of Advanced Research In Computer and Communication Engineering*. Vol. 4 (4): hal. 108-110.

Madekar, Kajal J., Kranti R. Nanaware, Pooja R. Phadtare, Vikas S. Mane. 2016. "Automatic mini CNC machine for PCB drawing and

drilling”. *International Research Journal of Engineering and Technology*. Vol. 3 (2): hal. 1106-1110.

- Nugraha, Deny Wiria. 2011. “Pengendalian Robot yang Memiliki Lima Derajat Kebebasan”. *Jurnal Ilmiah Foristek*. Vol 1 (1): hal. 22-32.
- Pranav, D.P.S., D. Anil Kumar, I. Abhishek. 2016. “Development of Arduino Controlled CNC/3D Printer”. *International Journal of Emerging Research in Management & Technology*. Vol. 5 (7): hal. 12-21.
- Prawira A N, M. Yudha, Zaldy Yunus. 2015. *Mesin Pengebor Printed Circuit Board (PCB) Otomatis*. Skripsi tidak diterbitkan. Makassar: PPs Universitas Hasanuddin.
- Sailaja, S., Munta Padmavathi. 2016. “Micro-CNC Machines for Displacements along Z-Axis and on XY-Plane”. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*. Vol. 4 (1): hal. 839-846.
- Setyaning, Dhanni Tri Andini, Didik Setyo Purnomo, Muhammad Iqbal Nugraha. 2011. “Robot Cartesian 3 Sumbu (X,Y,Z) Untuk Aplikasi Pengambilan dan Penempatan Benda Kerja”. Makalah disajikan dalam *The 13<sup>th</sup> Industrial Electronics Seminar 2011 (IES 2011) Electronic Engineering Polytechnic Institute of Surabaya (EEPIS)*, Indonesia, 26 oktober.
- Syahrul. 2011. “Motor Stepper: Teknologi, Metoda dan Rangkaian Kontrol”. *Majalah Ilmiah UNIKOM*. Vol. 6 (2): hal. 187-201.
- Texas Instruments. 2016. L293x Quadruple Half-H Drivers, (Online), ([www.ti.com/lit/ds/symlink/l293.pdf](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/l293.pdf), diakses 06 Januari 2017).
- Tim Penyusun. 2014. *Pedoman Penulisan Skripsi Program Sarjana Strata Satu Universitas Negeri Surabaya*. Surabaya: Unesa.

