

# Mesin Bor Otomatis dengan Menggunakan Kamera untuk Mendeteksi Koordinat Bor

Thiang

Dosen Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro – Universitas Kristen Petra

Sherwin R.U Sompie

Alumnus Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro – Universitas Kristen Petra

## Abstrak

Makalah ini akan menjelaskan tentang pengeboran *Printed Circuit Board* (PCB) otomatis. Pengeboran PCB otomatis ini menggunakan kamera sebagai sensor untuk mendeteksi koordinat *pad* dan *via* yang akan dibor. Beberapa metode pemrosesan *image* digunakan dalam pendeteksian koordinat antara lain *threshold*, *gray scale* dan *fillrect*. Hasil pengambilan koordinat berupa *pixel* akan dikonversikan ke satuan milimeter agar dapat dilakukan pengeboran.

Mekanik mesin bor yang dibuat menggunakan motor *stepper* untuk pergerakan lengan X dan Y dan motor DC untuk pergerakan lengan Z dan motor bor. Pergerakan setiap lengan dirancang menggunakan sistem ulir, yang memungkinkan pergerakan yang tepat dan presisi.

Hasil pengujian diperoleh error rata-rata pergerakan lengan antara koordinat terdeteksi (kamera) dan koordinat sesungguhnya adalah 0,275 mm dan 0,283 mm untuk lengan X dan sumbu Y. Sistem juga berhasil mendeteksi keberadaan semua *pad* dan *via* sesuai dengan jumlah *pad* dan *via* yang sesungguhnya.

Kata kunci: mesin bor otomatis, mesin bor PCB, sensor kamera, pemrosesan image.

## Abstract

This paper describes about automatic drilling machine used to drill *pad* and *via* in *Printed Circuit Board* (PCB). The automatic drilling machine used camera as the sensor to detect coordinates of *pad* and *via* in PCB. This system used several methods of image processing like *threshold*, *grayscale*, and *fillrect* to detect the *pad* and *via* coordinates. This processes result the *pad* and *via* coordinates in pixels, then, these coordinates would be converted to millimeters in order to perform the drilling process.

The automatic drilling machine used two stepper motors to perform the movement of X-axis and Y-axis. The machine also used two DC motors for the movement of Z-axis and drilling motor. The movement of each axis was designed by using the thread of a screw in order to achieve the precision movement.

Experiment results show that average errors of the X-axis and Y-axis movement are 0.275 mm and 0.283 mm respectively. The system also could detect correctly all *pad* and *via* in PCB.

Keywords: automatic drilling machine, PCB drilling machine, camera sensor, image processing.

## 1. Pendahuluan

*Printed Circuit Board* (PCB) merupakan salah satu bagian yang penting dalam merancang atau membangun suatu rangkaian elektronika. Pada PCB terdapat *pad* dan *via* dimana keduanya harus dibor agar komponen dapat dipasang pada PCB. Untuk suatu rangkaian yang kompleks, jumlah *pad* dan *via*-nya sangat banyak sehingga bisa saja terjadi kesalahan dimana ada beberapa *pad* atau *via* yang tidak dibor apabila dilakukan pengeboran secara

manual. Pada makalah ini akan dijelaskan tentang mesin pengeboran PCB secara otomatis dengan input koordinat pengeboran diambil secara otomatis dari gambar PCB.

Pendeteksian koordinat bor dilakukan dengan menggunakan kamera sebagai sensor. Gambar *print out* PCB akan ditangkap dengan menggunakan kamera, kemudian dengan menggunakan teknologi pemrosesan *image*, koordinat bor dapat terdeteksi.

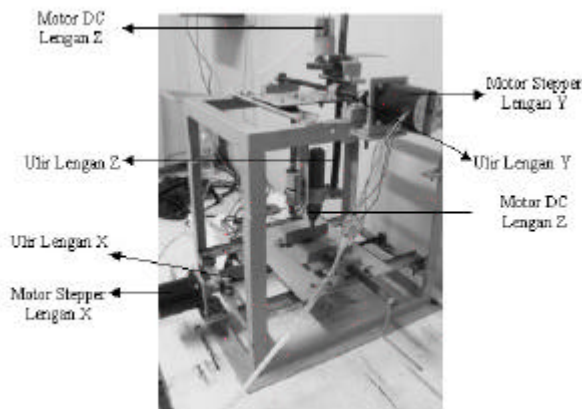
Proses pendeteksian koordinat pengeboran, mulai dari pemrosesan *image* sampai perhitungan koordinat bor akan dipaparkan pada bagian 4. Bagian 2 akan menjelaskan perancangan model mesin bor yang telah dibuat sedangkan bagian 3 akan membahas peran-

**Catatan** : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Februari 2003. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 5 Nomor 1 April 2003.

cangan perangkat keras elektronik dari mesin bor. Bagian 5 akan memaparkan hasil-hasil pengujian yang telah dilakukan dan makalah ini akan ditutup dengan beberapa kesimpulan dan diskusi.

## 2. Perancangan Model Mesin Bor

Gambar 1 menunjukkan model mekanik mesin bor yang telah didisain. Model mesin bor ini hanya merupakan miniatur dan mampu mengebor PCB dengan ukuran maksimum 9 x 10 cm.



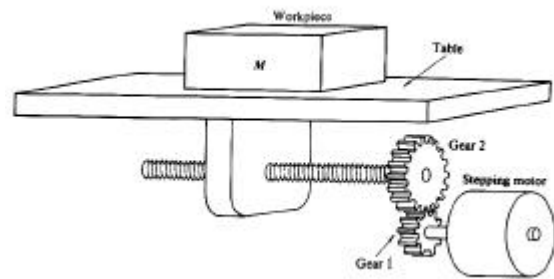
Gambar 1. Model Mekanik Mesin Bor

Mesin bor dibuat dengan menggunakan empat motor yaitu dua motor *stepper* dan dua motor DC. Dua motor *stepper* digunakan untuk pergerakan lengan X dan lengan Y dan satu motor DC digunakan untuk pergerakan lengan Z. Satu motor lagi digunakan melakukan pengeboran. Pergerakan lengan Z menggunakan motor DC karena dalam arah Z hanya berfungsi untuk menurunkan motor bor saat melakukan pengeboran. Sedangkan dalam arah X dan Y digunakan motor *stepper* untuk memudahkan kontrol posisi yang harus dilakukan.

Untuk mendapatkan ketelitian gerakan yang tinggi, maka sistem mekanik untuk gerakan lengan X dan Y menggunakan ulir. Gambar 2 menunjukkan contoh mekanik untuk gerakan lengan X.

Perbandingan *gear1* dan *gear2* yang digunakan adalah 1:1 dan jarak antar ulir yang digunakan adalah 1,588 mm. Motor *stepper* yang digunakan mempunyai spesifikasi 200 *step* per putaran. Hal ini berarti untuk melakukan satu putaran maka motor *stepper* membutuhkan 200 pulsa. Dari disain ulir yang digunakan, diketahui satu putaran akan terjadi gerakan sejauh 1,588 mm maka dapat dihitung satu *step*

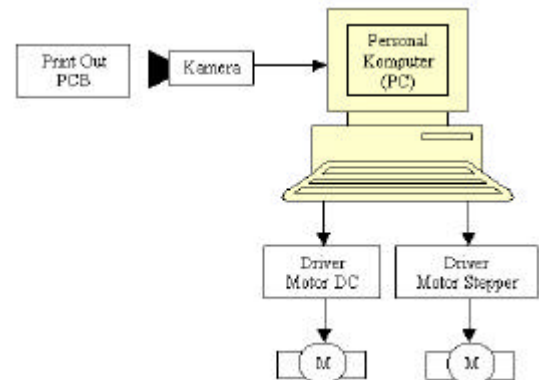
dari motor *stepper* akan terjadi gerakan lengan X sejauh 0,00794 mm. Pergerakan lengan Y didisain sama dengan lengan X. Sehingga ketelitian pergerakan lengan X dan Y dari mekanik yang telah didisain adalah 0,00794 mm/step.



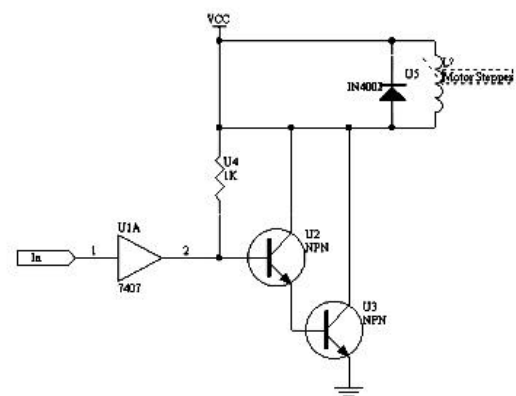
Gambar 2. Mekanik untuk Gerakan Lengan X

## 3. Perangkat Keras Sistem

Perangkat keras elektronik dari mesin bor yang telah didisain terdiri atas sebuah personal komputer (PC) yang dilengkapi dengan sebuah kamera dan *interface* berupa rangkaian *driver* motor baik untuk motor DC maupun motor *stepper*. Blok diagram perangkat keras dari mesin bor ini dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Blok Diagram Perangkat Keras Mesin Bor

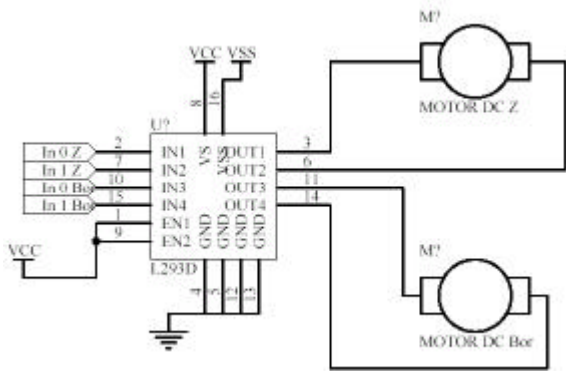


Gambar 4. Rangkaian *Driver* Motor *Stepper*

Rangkaian *driver* motor untuk motor *stepper* dirancang dengan menggunakan rangkaian transistor yang dirangkai model *darlington*. Gambar 4 adalah gambar rangkaian *driver* motor *stepper* yang telah didisain.

Rangkaian *driver* motor untuk motor DC dirancang dengan menggunakan IC L293D. IC ini merupakan rangkaian 4 *channel H-Bridge*. Salah satu keuntungan IC ini adalah mudah dalam mengatur arah putaran motor. Gambar 5 menunjukkan rangkaian *driver* motor DC yang menggunakan IC L 293D.

Kedua rangkaian *driver* motor ini dihubungkan ke PC melalui *interface paralel port* yaitu LPT1. *Driver* motor *stepper* dihubungkan ke output data dari *paralel port* LPT1 dengan alamat 378H. Sedangkan *driver* motor DC dihubungkan ke *port* kontrol dari *paralel port* LPT1 dengan alamat 37AH.



Gambar 5. Rangkaian *Driver* Motor DC

Untuk mendeteksi posisi nol dari PCB digunakan dua buah limit *switch* dan kedua limit *switch* ini dihubungkan ke *port* status dari *paralel port* LPT1 dengan alamat 379H.

Untuk pengambilan gambar PCB, digunakan sebuah kamera. Kamera ini dihubungkan ke PC melalui *serial port* USB. Semua proses *image* dan proses kontrol dilakukan oleh PC.

#### 4. Perangkat Lunak Sistem

Perangkat lunak sistem didisain dengan menggunakan program *Delphi 5.0* yang berjalan dalam sistem operasi *windows 98*. Secara garis besar, program yang telah didisain dibagi atas dua bagian utama yaitu pendeteksian koordinat bor dan proses pengeboran itu sendiri. Pendeteksian koordinat bor dilakukan dengan memproses *image* yang ditangkap dari kamera. Ukuran *image* yang digunakan adalah 320 x 240 *pixel*.

#### 4.1 Proses Pendeteksian Koordinat Bor

Ada beberapa batasan dari gambar *print out* PCB yang dapat diproses oleh program yang telah didisain. Batasan tersebut adalah:

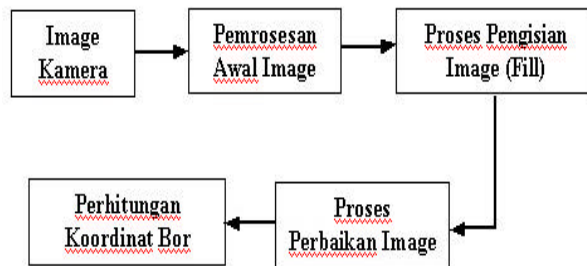
- *Print out* PCB berwarna hitam putih dengan ukuran maksimum 9 x 10 cm
- *Layout* PCB harus dikelilingi oleh *frame* berbentuk kotak dan berwarna hitam
- *Layout* untuk *pad* dan *via* harus ada lubang titik untuk pengeboran (*drill hole*)

Secara umum blok diagram dari sistem pendeteksian koordinat pengeboran dapat dilihat pada gambar 6. Proses pendeteksian koordinat bor dibagi atas empat tahap. Tahap pertama adalah pemrosesan awal *image*. Dalam tahap ini, *image* yang ditangkap dari kamera akan diubah dahulu dari format RGB menjadi *grayscale*. Proses ini dilakukan dengan menggunakan metode *illuminance grayscale* yang direpresentasikan dengan persamaan berikut:

$$Gray = 0,299 R + 0,587 G + 0,114 B \tag{1}$$

Selain itu juga digunakan metode *mean grayscale* untuk perubahan *image* dari format RGB menjadi format *grayscale*. Metode ini dilakukan dengan menghitung rata-rata nilai RGB yang direpresentasikan dengan persamaan berikut:

$$Gray = \frac{R + G + B}{3} \tag{2}$$



Gambar 6. Blok Diagram Sistem pendeteksian Koordinat Bor

Proses berikut dalam tahap pertama ini adalah melakukan *threshold* dengan menggunakan metode *single threshold*. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk melakukan proses *single threshold*:

$$g(x,y) = \begin{cases} 255 & \text{jika } f(x,y) \geq T \\ 0 & \text{untuk yang lain} \end{cases} \tag{3}$$

dimana T adalah nilai *threshold*. Proses ini menghasilkan suatu *image* dengan warna hitam dan putih. Dalam penelitian ini, besar nilai *threshold* yang digunakan adalah 50.

Tahap kedua adalah proses pengisian image. Dalam pengisian image ini, semua warna putih kecuali lubang bor yang ada pada pad dan via akan diisi dengan warna hitam sehingga hasil dari proses ini adalah semua image akan berwarna hitam kecuali lubang-lubang bor pada pad dan via. Proses ini dilakukan dengan metode *floodfill*.

Pada tahap ketiga yaitu tahap perbaikan image, akan dilakukan sekali lagi proses *single threshold*. Hanya hasil proses yang terjadi adalah kebalikan. Warna hitam menjadi putih dan putih menjadi hitam. Dengan demikian dalam *image* seolah-olah hanya ada titik-titik hitam yang merupakan titik-titik dimana PCB harus dibor.

Tahap terakhir adalah menghitung koordinat dari titik-titik pengeboran. Hal ini dilakukan dengan mencari batas atas, batas bawah, batas kiri dan batas kanan dari obyek dalam hal ini adalah *pad* atau *via*. Dengan menggunakan persamaan berikut maka koordinat titik pengeboran dapat dihitung.

$$X = \frac{X_{min} + X_{max}}{2} \tag{4}$$

$$Y = \frac{Y_{min} + Y_{max}}{2} \tag{5}$$

dimana  $X_{min}$ ,  $X_{max}$ ,  $Y_{min}$  dan  $Y_{max}$  adalah batas kiri, batas kanan, batas bawah dan batas atas. Proses ini dilakukan sampai semua titik-titik pengeboran terhitung koordinatnya.

#### 4.2 Proses Pengeboran

Pada bagian ini, program yang dibuat mencakup seluruh hal yang bersangkutan dengan mesin bor mulai dari pergerakan motor *stepper*, pergerakan motor DC, pendeteksi posisi nol, sampai konversi koordinat bor dari satuan *pixel* ke satuan millimeter dan jumlah step dari motor *stepper*. Tabel 1, 2 dan 3 adalah tabel aturan yang telah didisain untuk mengatur pergerakan motor *stepper* dan motor DC serta aturan pendeteksi posisi nol.

**Tabel 1. Kode Aturan Pergerakan Motor Stepper**

Motor Stepper X		Motor Stepper Y	
Step	Data	Step	Data
1	01H	1	10H
2	02H	2	20H
3	04H	3	40H
4	08H	4	80H

**Tabel 2. Kode Aturan Pergerakan Motor DC**

Data	Fungsi
0AH	Lengan Z Turun
09H	Lengan Z Naik
0FH	Bor Kiri
03H	Bor Kanan
0EH	Lengan Z Turun dan Bor Kanan
01H	Lengan Z Naik dan Bor Kiri
0BH	Stop Semua Motor DC

**Tabel 3. Kode Proses Pendeteksi Posisi Nol**

Data	Fungsi
5FH	Lengan X mencapai posisi nol
3FH	Lengan Y mencapai posisi nol
1FH	Kedua Lengan mencapai posisi nol

Pada *image* yang ditangkap dari kamera selalu terdapat sebuah titik referensi yang jarak sesungguhnya terhadap sumbu X dan Y adalah 10 mm. Titik referensi ini selalu terletak pada titik yang terakhir dari semua titik-titik yang berhasil dideteksi. Semua koordinat titik-titik pengeboran yang terdeteksi dari *image* mempunyai satuan *pixel*. Untuk mengkonversi koordinat tersebut ke dalam satuan millimeter, digunakan persamaan berikut:

$$X_m = X_p * \frac{10}{X_r} \tag{6}$$

$$Y_m = Y_p * \frac{10}{Y_r} \tag{7}$$

dimana  $X_m$  dan  $Y_m$  adalah koordinat titik pengeboran dalam satuan millimeter,  $X_p$  dan  $Y_p$  adalah koordinat pengeboran dalam satuan *pixel* dan  $X_r$  dan  $Y_r$  adalah koordinat titik referensi.

Dari satuan millimeter, koordinat pengeboran akan dikonversi ke dalam jumlah step dari motor *stepper*. Karena resolusi mekanik yang telah didisain adalah 0,00794 mm/step maka untuk mengkonversi koordinat titik-titik pengeboran dari satuan millimeter ke jumlah step dari motor *stepper*, digunakan persamaan berikut:

$$X_s = \frac{X_m}{0,00794} \tag{8}$$

$$Y_s = \frac{Y_m}{0,00794} \tag{9}$$

dimana  $X_s$  dan  $Y_s$  adalah jumlah step dari motor *stepper* untuk pergerakan lengan X dan lengan Y. Hasil perhitungan koordinat dalam jumlah step dari motor *stepper* selalu dibulatkan ke satuan terdekat.

### 5. Hasil pengujian

Beberapa percobaan telah dilakukan untuk menguji sistem antara lain pengujian ketelitian gerakan lengan X dan lengan Y mesin bor, pengujian ketelitian pengeboran PCB. Dari hasil pengujian secara keseluruhan, terlihat mesin bor dapat berjalan dengan baik.

Pengujian pertama yang dilakukan adalah pengujian ketelitian gerakan lengan X dan lengan Y. Dalam pengujian ini, koordinat bor diinputkan secara manual dan pengukuran gerakan lengan X dan lengan Y juga dilakukan secara manual. Berikut tabel 4 menunjukkan beberapa hasil pengujian ketelitian gerakan lengan X dan Y.

**Tabel 4. Beberapa Hasil Pengujian Gerakan Lengan X dan Lengan Y dair Mesin Bor**

Input (mm)		Lengan X (mm)	Lengan Y (mm)
X	Y		
8	4	8	3
10	18	10	18,5
20	7	20	7
20	10	19,5	10
15	15	15	15
10	20	10	20
28	26	28	26
30	15	30	15
33	17	32,5	17

Dari hasil pengujian didapatkan kesalahan rata-rata untuk gerakan lengan X adalah 0,11 mm dan kesalahan rata-rata untuk gerakan lengan Y adalah 0,17 mm.

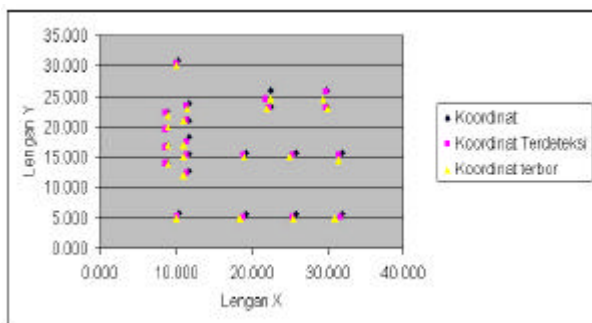
Tabel 5 menunjukkan beberapa hasil pengujian untuk mendapatkan ketelitian pendeteksian koordinat titik-titik pengeboran.

**Tabel 5. Beberapa Pengujian Ketelitian Pendeteksian Koordinat Titik-titik Pengeboran**

Koordinat (mm)		Koordinat Terdeteksi (mm)	
X	Y	X	Y
10,414	5,816	10,13	5,34
19,304	5,588	18,92	5,21
25,908	5,588	25,43	5,21
32,004	5,588	31,76	5,21
11,684	12,801	11,32	12,45
19,304	15,748	18,92	15,43
25,908	15,748	25,43	15,43
32,004	15,748	31,46	15,43
8,890	14,173	8,67	13,89
11,684	15,570	11,32	15,32
8,890	16,941	8,67	16,56
11,684	18,338	11,32	17,56

8,890	19,710	8,67	19,65
11,684	21,107	11,32	20,98
22,552	23,368	22,31	23,24
29,972	23,368	29,78	23,24
8,890	22,479	8,67	22,32
11,684	23,876	11,32	23,54
22,552	25,908	21,77	24,56
29,972	25,908	29,78	25,87
10,287	30,861	10,02	30,43
13,208	6,096	13,10	5,86
20,828	6,096	20,34	5,86
24,892	8,636	25,78	8,32
35,052	8,636	33,98	8,32
6,604	9,652	6,02	9,78
7,874	10,922	7,90	11,02
9,144	9,652	8,67	9,78
13,208	8,636	13,11	8,46
20,828	8,636	20,34	9,11
13,208	11,176	13,32	11,07
20,828	11,176	20,34	11,07
13,208	13,716	13,32	13,46
20,828	13,716	20,34	14,21
24,892	13,716	24,33	13,46
35,052	13,716	34,01	13,46
7,62	16,256	7,43	16,11
13,208	16,256	13,32	16,11
20,828	16,256	20,34	16,32
7,62	17,526	7,43	17,42
13,208	18,796	13,32	18,43
20,828	18,796	20,34	19,11
24,892	18,288	24,12	18,21
35,052	18,288	34,22	18,34
13,208	21,336	13,32	21,23
20,828	21,336	20,34	21,32
13,208	23,876	13,32	21,32
20,828	23,876	20,34	24,11
24,892	23,368	24,21	23,44
35,052	23,368	34,12	23,44
13,208	26,416	13,32	26,21
20,828	26,416	20,34	26,32
13,208	28,956	13,32	28,32
20,828	28,956	20,34	28,32
7,62	18,796	7,43	19,11

Hasil pengujian diperoleh error rata-rata pergerakan lengan antara koordinat terdeteksi (kamera) dan koordinat sesungguhnya adalah 0,275 mm dan 0,283 mm untuk lengan X dan sumbu Y. erro yang dihasilkan oleh sistem ini cukup besar, tetapi bila dilihat secara keseluruhan, pada koordinat terdeteksi terjadi pergeseran ke kiri sejauh jarak yang hampir sama untuk semua titik. Berikut salah satu gambar perbandingan koordinat terdeteksi, koordinat sesungguhnya dan hasil pengeboran.



Gambar 7. Perbandingan Koordinat Terdeteksi, Koordinat Sesungguhnya dan Hasil Pengeboran.

Dari gambar terlihat bahwa terjadi pergeseran koordinat terdeteksi terhadap koordinat sesungguhnya. Jadi jelas bahwa error yang terjadi disebabkan oleh pergeseran ini.

## 6. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa sistem pengeboran yang telah didisain dapat berjalan dengan cukup baik walaupun error yang dihasilkan cukup besar. Karena error tersebut sesungguhnya adalah error pergeseran ke kiri yang terjadi pada semua titik. Masih ada kelemahan dalam sistem ini yaitu proses gerakan pengeboran belum optimum. Untuk pengembangan selanjutnya, pada sistem dapat ditambahkan algoritma untuk mengoptimasi gerakan pengeboran misalnya dengan algoritma genetika.

## Daftar Pustaka

1. Baxes, Gregory A. "Digital Image Processing". Canada: Whon Wiley & Sons Inc., 1994
2. Castleman, Kenneth R. "Digital Image Processing". New Jersey: Prentice Hall International, Inc., 1996
3. Intan, Rolly. "Perencanaan dan Pembuatan Prototype Pengebor PCB yang dapat diprogram". Surabaya, Jurnal Elektro UK Petra, 1997.
4. "Interfacing to the IBM-PC Parallel port". <http://www.doc.ic.ac.uk/~ih/doc/par/doc/intro.html>
5. "Stepping Sequences for a Four-Phase Unipolar Permanent Magnet Stepper Motor". [[http://www.doc.ic.ac.uk/~ih/doc/stepper/control2/sequ\\_old.html](http://www.doc.ic.ac.uk/~ih/doc/stepper/control2/sequ_old.html)]