

**RANCANG BANGUN CNC (COMPUTER NUMERICALLY CONTROLLED)
PCB LAYOUT BERBASIS MIKROKONTROLER**

TUGAS AKHIR

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan
Strata I/ Akta IV pada Jurusan Teknik Elektronika Program Studi Pendidikan
Teknik Elektronika Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang*



Oleh:

**AGUNG GUMELAR
NIM. 15065009/ 2015**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRONIKA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRONIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2021**

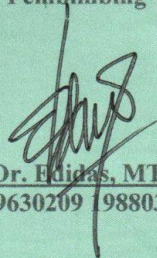
HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN CNC (COMPUTER NUMERICALLY
CONTROLLED) PCB LAYOUT BERBASIS MIKROKONTROLLER**

Nama : Agung Gumelar
NIM/TM : 15065009/2015
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektronika
Jurusan : Teknik Elektronika
Fakultas : Teknik

Padang, Februari 2021

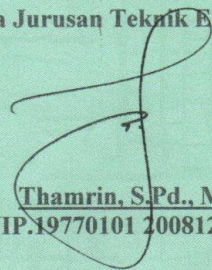
**Disetujui Oleh
Pembimbing**



Dr. Edidas, MT
NIP. 19630209 198803 1 004

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektronika



Thamrin, S.Pd., MT.
NIP.19770101 200812 1 001

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

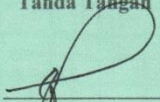
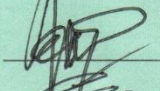

*Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan TIM Penguji Tugas Akhir
Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektronika
Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang*

**Judul : Rancang Bangun CNC (Computer Numerically Controlled) PCB
Layout Berbasis Mikrokontroler**

Nama : Agung Gumelar
NIM/TM : 15065009/2021
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektronika
Jurusan : Teknik Elektronika
Fakultas : Teknik

Padang, Februari 2021

Tim Penguji :

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	: Yasdinul Huda, S.Pd., M.T.	1. 
2. Anggota	: Dr. Edidas, M.T.	2. 
3. Anggota	: Drs. Legiman Slamet, M.T.	3. 

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis saya, Tugas Akhir dengan judul **“Rancang Bangun CNC (Computer Numerically Controlled) PCB Layout Berbasis Mikrokontroler”**, adalah asli karya saya sendiri.
2. Karya tulis ini murni gagasan dan rumusan saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali dari pembimbing.
3. Di dalam karya tulis ini, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau di publikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan pada kepustakaan.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan di dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah di peroleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, Februari 2021
Yang membuat pernyataan



Agung Gumelar
NIM. 15065009

ABSTRAK

AGUNG GUMELAR: Rancang Bangun CNC (*Computer Numerically Controlled*) PCB Layout Berbasis Mikrokontroler.

Tujuan dari tugas akhir ini adalah dapat membuat alat ukir *layout* rangkaian elektronika pada papan PCB (*Printed Circuit Board*) atau yang disebut dengan mesin CNC (*Computer Numerical Control*) sehingga dapat mempermudah pekerjaan manusia dalam pembuatan *layout* dan mengurangi proses dari pembuatan *layout* biasa yang menggunakan bahan pelarut tembaga *Ferric Chloride* ($FeCl_3$) dan proses lainnya. Metode perancangan dan pembuatan sistem alat ada beberapa tahapan yaitu perancangan alat, perancangan perangkat keras perancangan perangkat lunak, dan rancangan fisik alat. Hasil perancangan dan pembuatan alat mesin CNC untuk mengukir *layout* pada PCB bekerja dengan menggunakan mikrokontroler Arduino UNO sebagai pengirim firmware GRBL dan menggunakan aplikasi CNCjs untuk mengontrol mesin CNC. Alat ini menggunakan tiga (3) *motor stepper* nema17 sebagai penggerak mesin dengan tiga axis yaitu X, Y dan Z, selanjutnya mesin CNC menggunakan bor sebagai alat ukir pada PCB yang terletak pada Axis Z. *Layout* akan diukir pada PCB setelah *file layout* diubah dalam bentuk file .ngc menggunakan aplikasi inkscape dan diupload pada aplikasi CNCjs sehingga pengontrolan mesin CNC pada proses baik sebelum dan akan dioperasikan. Dari hasil penelitian tugas akhir ini menghasilkan alat yang dapat mengukir *layout* pada papan PCB.

Kata kunci : CNC, PCB, Motor Stepper, GRBL, Mikrokontroler

KATA PENGANTAR



Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, Ar – Rahman, Ar - Rahiim yang telah meninggikan derajat orang-orang yang beriman dan berilmu pengetahuan, atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Rancang Bangun CNC (*Computer Numerically Controlled*) PCB Layout Berbasis Mikrokontroler**”. Selanjutnya shalawat beserta salam semoga disampaikan Allah SWT kepada junjungan Nabi Muhammad SAW yang menjadi suri tauladan dalam setiap sikap dan tindakan sebagai seorang muslim.

Pembuatan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Sarjana (S1) Jurusan Elektronika Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. Penyelesaian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak sehingga dapat diselesaikan segala hambatan dan rintangan yang dihadapi, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Fahmi Rizal, M.Pd., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
2. Bapak Thamrin, S.Pd., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektronika Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang dan Penguji yang telah banyak memberikan masukan dan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

3. Ibu Delsina Faiza, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektronika Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang dan Penguji yang telah banyak memberikan masukan dan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Edidas, M.T., selaku pembimbing yang telah banyak memberikan saran dan masukan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Staf Pengajar beserta Teknisi Labor Jurusan Teknik Elektronika.
6. Kedua orang tua (Bapak Sisworo dan Ibu Dasmawati) dan adik cantikku (Nabila) yang telah memberikan dorongan, do'a dan semangat serta kasih sayangnya kepada penulis.
7. Neng Hernawati yang telah memberikan doa, semangat, masukan dan bantuannya.
8. Rekan - rekan mahasiswa (Apriyadi, Kak Yeni, Bang Alvian, Kak Dishe, Ravi, Miko, Bang Yudi, Dirat, Caca, Nella dll) Teknik Elektronika angkatan 2015, terimakasih atas bantuan yang telah menambah semangat penulis.
9. Pihak- pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga segala motivasi, dorongan, dan bantuan serta bimbingan yang diberikan menjadi amal jariah dan mendapat balasan yang setimpal dari Allah SWT. Penulis mengharapkan kepada pembaca untuk memberikan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini, dan juga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak dan bernilai ibadah di sisi Allah SWT.

Padang,...Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
 BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah.....	3
C. Batasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah.....	4
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	5
 BAB II LANDASAN TEORI	
A. Konsep Sistem Kontrol	6
B. Komponen Perangkat Keras	9
C. Perangkat Lunak	24
 BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	
A. Perancangan Alat	29
B. Prinsip Kerja Alat	33
C. Rancangan Perangkat Keras	34
D. Rancangan Perangkat Lunak	41
E. Proses Pembuatan Alat	43
F. Rancangan Fisik Alat.....	44

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil dan Pembuatan Alat.....	48
1. Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	48
2. Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	116
B. Pembahasan	118
1. Pengukuran Tegangan <i>Power Supply</i>	119
2. Pengukuran Rangkaian <i>Driver Motor A4988</i>	119

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan	126
B. Saran	126

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Diagram Blok Sistem Kontrol Loop Terbuka	7

Gambar 2. Diagram Blok Sistem Kontrol Tertutup.....	8
Gamabr 3. Bentuk Fisik Arduino Uno	10
Gambar 4. Bentuk Fisik Motor Stepper	12
Gambar 5. Penampang Melintang Dari Motor Stepper Tipe Variable Reluctance (VR).....	13
Gambar 6. Ilustrasi Sederhana Dari Motor Stepper Tipe Permanent Magnet (PM)	14
Gamabr 7. Penampang Melintang Dari Motor Stepper Tipe Hibrid.....	15
Gamabr 8. Motor Stepper Dengan Lilitan Unipolar	16
Gamabr 9. Motor Stepper Dengan Lilitan Bipolar.....	17
Gamabr 10. Bentuk Fisik CNC <i>Shield</i> V3.0	21
Gambar 11. Bentuk Fisik A4988 <i>Stepper Motor Driver</i>	22
Gambar 12. Bentuk <i>Power Supply</i> 12V 10A	23
Gambar 13. Bentuk Tampilan Aplikasi Arduino IDE	25
Gambar 14. Bentuk Tampilan Aplikasi EAGLE 9.0.1	26
Gambar 15. Bentuk Tampilan Aplikasi Inkscape	27
Gambar 16. Bentuk Tampilan Aplikasi CNCjs.....	28
Gambar 17. Blok Diagram Rancangan Alat	28
Gambar 18. Flowchart Mesin CNC	32
Gambar 19. Skematik Rangkaian Mikrokontroler Arduino UNO	34
Gambar 20. Skematik Motor Driver A4988	35
Gambar 21. Skematik Arduino, Motor Driver A4988 Dan Motor Stepper	36
Gambar 22. Rangkaian Arduino, Motor Driver A4988 Dan Motor Stepper	37
Gambar 23. Wiring Diagram Pengontrolan Motor Stepper.....	37
Gambar 24. Skematik Rangkaian CNC <i>Shield</i> V3.....	38
Gambar 25. <i>Layout</i> Rangkaian CNC <i>Shield</i> V3	39
Gambar 26. Skematik Rangkaian <i>Power Supply</i>	39
Gambar 27. Tata Letak Komponen Rangkaian <i>Power Supply</i>	40
Gambar 28. <i>Layout</i> Rangkaian <i>Power Supply</i>	41
Gambar 29. Proses Perancangan Perangkat Lunak	42

Gambar 30. Rancangan Fisik Alat Tampak Depan.....	45
Gamabr 31. Rancangan Fisik Alat Tampak Samping Kiri	45
Gambar 32. Rancangan Fisik Alat Tampak Samping Kanan	46
Gambar 33. Rancangan Fisik Alat Tampak Atas.....	46
Gambar 34. Tampilan Aplikasi Eagle.....	48
Gambar 35. Tampilan Awal Aplikasi Eagle	49
Gambar 36. Tampilan Menu File	49
Gambar 37. Tampilan Schematic.....	50
Gambar 38. Tampilan Pengaturan Grid	50
Gambar 39. Pengaturan Grid.....	51
Gambar 40. Menu Add.....	51
Gambar 41. Memilih Komponen	52
Gambar 42. Tampilan Komponen Led.....	53
Gambar 43. Menu Line	53
Gambar 44. Ikon Switch to Board.....	54
Gambar 45. Ikon Move	55
Gambar 46. Merapikan Susunan Komponen	55
Gambar 47. Pembuatan Jalur	56
Gambar 48. Penggunaan Layer Setting.....	57
Gambar 49. Pembuatan File Image	57
Gambar 50. Tampilan Aplikasi Arduino IDE	58
Gambar 51. Menu Arduino IDE.....	58
Gambar 52. Shortcut Pemograman	58
Gambar 53. Sketch Editor	59
Gambar 54. Status Bar	59
Gambar 55. Jendela Bug	59
Gambar 56. Menu File	60
Gambar 57. Menu Edit.....	61
Gambar 58. Menu Sketch.....	63
Gambar 59. Menu Tools	65

Gambar 60. Menu Help.....	66
Gambar 61. Tampilan Tampilan Shortcut Pemograman.....	68
Gambar 62. Tampilan Sketch Editor.....	69
Gambar 63. Tampilan Status Bar	70
Gambar 64. Tampilan Jendela Bug	70
Gambar 65. Tampilan Aplikasi Inkscape	103
Gamabr 66. Membuka <i>File Layout</i>	104
Gamabr 67. Membalikkan Gambar.....	104
Gamabr 68. Mengubah Objek Menjadi Path	105
Gamabr 69. Mengubah Menjadi Path.....	106
Gambar 70. Mengubah Menjadi <i>Dynamic Offset</i>	106
Gambar 71. Membuat Titik Orientasi.....	107
Gambar 72. Mengatur <i>Tools</i> Mesin CNC.....	108
Gambar 73. Hasil Dari Pengaturan <i>Tools</i>	109
Gambar 74. Mengubah Path To Gcode.....	110
Gambar 75. Mengubah Path To Gcode.....	110
Gambar 76. Hasil Akhir Path To Gcode.....	111
Gamabr 77. Bentuk Tampilan CNCjs.....	112
Gambar 78. Mengatur <i>Port</i> Dan <i>Baudrate</i>	113
Gambar 79. Tampilan Jika Sudah Tersambung Dengan Alat.....	113
Gambar 80. Mengupload <i>File .ngc</i>	114
Gambar 81. Bentuk Tampilan <i>File .ngc</i> Setelah Diupload.....	115
Gambar 82. Tampilan Blok Menu.....	115
Gambar 83. Bentuk Fisik Alat Secara Keseluruhan.....	116
Gambar 84. Motor Stepper Sumbu Y.....	116
Gambar 85. Motor Stepper Sumbu X.....	117
Gambar 86. Motor Stepper Sumbu Z.....	118
Gambar 87. Pengukuran <i>Power Supply</i>	119
Gambar 88. Rangkaian Driver Motor A4988.....	120
Gambar 89. Titik Pengukuran VDD dan GND.....	120
Gambar 90. Hasil Pengukuran <i>Driver Motor</i> A4988 Sumbu Y.....	121

Gambar 91. Hasil Pengukuran <i>Driver Motor</i> A4988 Sumbu X.....	121
Gambar 92. Hasil Pengukuran <i>Driver Motor</i> A4988 Sumbu Z.....	122
Gambar 93. Titik Pengukuran VMOT dan GND.....	123
Gambar 94. Hasil Pengukuran <i>Driver Motor</i> A4988 Sumbu Y.....	123
Gambar 95. Hasil Pengukuran <i>Driver Motor</i> A4988 Sumbu X.....	124
Gambar 96. Hasil Pengukuran <i>Driver Motor</i> A4988 Sumbu Z.....	125

DAFTAR TABEL

Tabel

Halaman

Tabel 1. Ringkasan Fitur Arduino UNO	10
Tabel 2. Formasi Tegangan/Logika Pada Stepper Motor	19
Tabel 3. Formasi Double Active Bit Untuk Mode Putaran Full Step	20
Tabel 4. Binary.....	76
Tabel 5. Status Report Mask.....	79
Tabel 6. Group Modal.....	91
Tabel 7. Data Hasil Pengukuran Motor Driver A4988.....	122
Tabel 8. Data Hasil Pengukuran Motor Driver A4988.....	125

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data *Sheet* Arduino UNO

Lampiran 2 Data *Sheet* Drvier Motor A4988

Lampiran 3 Data *Sheet* Motor Stepper Nema 17

Lampiran 4 Bebas UHI

Lampiran 5 Bebas Perpustakaan

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Ilmu pengetahuan dan teknologi mengalami perkembangan yang sangat pesat dan akan terus berkembang seiring rasa ingin tahu manusia serta kebutuhan teknologi yang tinggi. Sangat membantu manusia dalam memudahkan pekerjaan sehari-hari.

Hingga sampai saat ini perkembangan dunia *manufacture* semakin berkembang, salah satunya adalah penggunaan teknologi komputer kedalam proses *manufacture* di dunia industri saat ini. Penggunaan teknologi komputer yang mengalami kemajuan pesat diantaranya adalah penggunaan mesin CNC (*Computer Numerically Controlled*), yang mana cara pengoperasiannya menggunakan program yang dikontrol langsung oleh komputer dan dengan bantuan *operator*.

Perkembangan ini di pacu oleh *Microprocessor*, sehingga volume unit pengendali dapat lebih ringkas. Dewasa ini penggunaan mesin CNC hampir terdapat di segala bidang. Dari bidang pendidikan dan riset yang mempergunakan alat-alat demikian dihasilkan berbagai hasil penelitian yang bermanfaat yang tidak terasa sudah banyak di gunakan dalam kehidupan sehari-hari di kalangan masyarakat banyak.

Mesin CNC adalah suatu mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik (data perintah dengan kode angka, huruf dan simbol) sesuai standart ISO. Sistem kerja teknologi CNC ini akan

lebih sinkron antara komputer dan mekanik, sehingga bila dibandingkan dengan mesin perkakas yang sejenis, maka mesin perkakas CNC lebih teliti, lebih tepat, lebih fleksibel dan cocok untuk produksi masal. Dengan dirancangnya mesin perkakas CNC dapat menunjang produksi yang membutuhkan tingkat kerumitan yang tinggi dan dapat mengurangi campur tangan operator selama mesin beroperasi.

PCB (*Printed Circuit Board*) adalah sebuah papan yang penuh dengan sirkuit dari logam yang menghubungkan komponen elektronik yang berbeda jenis maupun sama satu sama lain tanpa kabel. Dan merupakan suatu instrument penting dalam dunia rancang bangun rangkaian elektronika dimana kumpulan beberapa komponen elektronika yang dapat menjalankan suatu sistem tertentu terdapat didalamnya. Sebelum pemasangan komponen pada PCB maka hal yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah pembuatan layout PCB. Ada beberapa cara dalam pembuatan PCB Layout diantaranya adalah secara manual yaitu dengan cara di gambar sendiri dengan kertas milimeter atau langsung pada papan PCB dan cara yang lainnya adalah dengan cara di desain dengan PC (*Personal Computer*) menggunakan sebuah aplikasi.

Sebelum PCB Layout digunakan setelah di desain, maka langkah selanjutnya adalah proses pencetakan baik itu menggunakan kertas foto atau dengan stiker. Jika menggunakan kertas foto maka masih ada langkah selanjutnya yaitu di setrika supaya hasil layout menempel pada papan PCB. Barulah lanjut pada tahapan pelarutan menggunakan larutan *Ferric*

Chloride (FeCl₃) sehingga yang tertinggal pada PCB adalah layoutnya saja. Dengan cara ini memerlukan tahapan dan waktu yang lama, karena membuat PCB layout dengan tahapan banyak, dan terkadang setelah tahapan disetrika hasilnya sering gagal karena faktor teknik yang digunakan. Sehingga harus di ulang kembali pada tahap pemindahan layout dari kertas foto ke papan PCB dengan cara di setrika.

Berdasarkan dari latar belakang diatas, maka penulis tertarik untuk membuat sebuah alat dengan judul “**Rancang Bangun CNC (*Computer Numerically Controlled*) PCB Layout Berbasis Mikrokontroler**”.

B. Identifikasi Masalah

Dari latar belakang di atas maka identifikasi masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Banyaknya tahapan dalam proses pembuatan layout PCB secara manual.
2. Banyak terjadinya kerusakan jalur *layout* PCB pada proses pemindahan dari kertas foto ke PCB setelah di setrika.
3. Membutuhkan waktu yang lama untuk menyelesaikan *layout* PCB secara manual.
4. Memerlukan bahan *Ferric Chloride (FeCl₃)* atau bahan pelarut PCB lainnya.

C. Batasan Masalah

Dalam pembuatan tugas akhir ini penulis membatasi masalah yang ditemukan agar tidak meluasnya pembahasan-pembahasan yang timbul. Adapun batasan masalah dalam pembuatan tugas akhir ini diantaranya:

1. Perancangan dan pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak CNC (*Computer Numerically Controlled*) PCB Layout.
2. Menggunakan Arduino Uno sebagai Mikrokontroler.
3. Motor *Stepper* sebagai penggerak sumbu X, Y dan Z.
4. A4988 driver sebagai pengendali motor *stepper*.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah di atas, maka dirumuskan masalah yang akan dibahas pada Tugas Akhir ini yaitu,

1. Bagaimana merancang dan membuat perangkat keras dan perangkat lunak CNC (*Computer Numerically Controlled*) berbasis mikrokontroler Arduino untuk pembuatan layout PCB?
2. Bagaimana penggunaan mikrokontroler dan program arduino uno?
3. Bagaimana penggunaan motor stepper sebagai penggerak sumbu X, Y dan Z?
4. Bagaimana pemanfaatan A4988 *Driver* sebagai penggerak motor stepper?

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah :

1. Dapat merancang dan membuat perangkat keras dan perangkat lunak CNC (*Computer Numerically Controlled*) berbasis mikrokontroler Arduino untuk pembuatan layout PCB.
2. Dapat merancang penggunaan mikrokontroler dan program Arduino UNO.
3. Dapat merancang dan membuat motor stepper sebagai penggerak sumbu X, Y dan Z.
4. Dapat merancang dan membuat pemanfaatan *Driver Motor A4988* sebagai penggerak motor stepper.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat di peroleh dari perancangan tugas akhir ini adalah:

1. Meminimalisir proses pembuatan dari tahapan manual, sehingga tidak memerlukan pencetakan di kertas foto dan pemindahan layout dengan cara di setrika.
2. Layout yang telah di desain dengan PC (*Personal Computer*) bisa langsung di cetak ke papan PCB.
3. Dapat memberikan kemudahan terhadap pembuat PCB.

BAB V

PENUTUP

Berdasarkan hasil perancangan dan pembuatan alat CNC PCB *Layout* ini dapat diambil kesimpulan beserta saran dari hasil penulisan tugas akhir ini.

A. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dalam pembuatan CNC PCB *Layout* dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) alat CNC PCB *Layout* yang dikontrol melalui laptop atau *Personal Computer* (PC) telah bekerja dengan baik.
2. Motor Stepper dapat bergerak sesuai sumbu X, Y dan Z.
3. *Driver Motor* A4988 dapat mengoperasikan motor stepper dengan baik.

B. Saran

Berdasarkan pengalaman yang diperoleh selama perancangan dan pembuatan alat CNC PCB *Layout* ada beberapa saran yang akan disampaikan agar bermanfaat untuk pengembangan dan penyempurnaan rancangan alat ini selanjutnya.

1. Dalam pembuatan alat ini untuk selanjutnya sebaiknya menggunakan relay sebagai sensor deteksi gerak jika motor stepper bergerak telah melebihi batas gerak alat sehingga alat bisa bekerja dengan baik dan lebih sistematis.
2. Dalam penggunaan motor stepper sebaiknya menambahkan 1 (satu) buah motor stepper untuk sumbu Y, karena beratnya beban yang dibawa oleh motor stepper sumbu Y dan alat bisa bekerja lebih baik lagi.

3. Pada mesin CNC ini sebaiknya menggunakan dua (2) *motor stepper* pada sumbu Y, sehingga beban pada sumbu Z bisa terbawa dengan baik dan hasilnya ukiran *layout* dan jalan motor pada PCB stabil.
4. Sebaiknya gunakan mata bor jenis *V-Shape* untuk kebaikan dalam mengukir *layout* pada PCB dan lebih kuat dan tajam dari pada mata bor jenis lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyono, E., & Harianto, B. M. (2017). *Rancang Bangun Mesin Meja Plasma Cutting Dengan Gerak 3 Axis X, Y, Z Menggunakan Motor Stepper Berbasis Arduino* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Cholish, C., Rimbawati, R., & Hutasuhut, A. A. (2017). Analisa Perbandingan Switch Mode Power Supply (SMPS) dan Transformator Linear Pada Audio Amplifier. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 1(2).
- HABIBURRAHMAN, M. (2017). *PERANCANGAN MESIN CNC (COMPUTER NUMERICAL CONTROL) ROUTER DENGAN APLIKASI GRBL 0.9 CONTROL 3 AXIS SISTEM X, Y DAN Z (SOFTWARE)* (Doctoral dissertation, POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA).
- Harrizal, I. S., Syafri, S., & Prayitno, A. (2017). Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin CNC Milling 3 Axis Menggunakan Close Loop System. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 4(2), 1-8.
- Jufril, D., Darwison, D., Rahmadya, B., & Derisma, D. (2015). Implementasi Mesin Penetas Telur Ayam Otomatis Menggunakan Metoda Fuzzy Logic Control. *Prosiding Semnastek*.
- Mansur, M., Yusuf, I., & Marzuki, M. (2019). RANCANG BANGUN MESIN CNC DRILLING MENGGUNAKAN SISTEM KONTROL GRBL UNTUK PEMBUATAN LUBANG PCB. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 3(2), 119-124.
- Prakasa, G. N. (2017). Prototipe Kunci Pintu Menggunakan Motor Stepper Berbasis Arduino Mega 2560 Dengan Perintah Suara Pada Android. *Universitas Lampung*.
- Pradana, D. K (2011). Rancang Bangun CNC Milling Machine Home Made Untuk Membuat PCB. *Jurnal Teknologi Elektro*, 10(1), 35-41.
- Pramono, G. E., Yuliaji, D., & Waluyo, R. (2015). Rancang Bangun CNC Mini Router 3 Axis untuk Keperluan Praktikum CAD/CAM. *AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1(1), 6-14.
- Prasanto, S. (2016). *Analisis Kendali Motor Stepper Pada Koordinat Kartesius Menggunakan Mikrokontroler Atmega328p Pada Mesin Cnc*