



**RANCANG BANGUN MESIN CNC ROUTER UNTUK PENCETAKAN
JALUR PCB BERBASIS ARDUINO UNO**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Menyelesaikan Pendidikan Pada
Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro

Disusun Oleh :
Muhammad Iqbal Irsyad
40040621650068

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK LISTRIK INDUSTRI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2025**

HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN MESIN CNC ROUTER UNTUK PENCETAKAN
JALUR PCB BERBASIS ARDUINO UNO**

Diajukan Oleh :
Muhammad Iqbal Irsyad
40040621650068

Dosen Pembimbing Tugas Akhir,



Fakhruddin Mangkusasmito, S.T., M.T.,
NIP. 198908202019031012

Tanggal : 04 - 08 - 2025

Mengetahui,
Ketua Program Studi S.Tr. Teknik Listrik Industri
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro



Arkhan Subari, ST., M.Kom.
NIP. 197710012001121002

Tanggal : 02 - 09 - 2025

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN MESIN CNC ROUTER UNTUK PENCETAKAN
JALUR PCB BERBASIS ARDUINO UNO**

Diajukan Oleh :
Muhammad Iqbal Irsyad
40040621650068

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 28 Agustus 2025

Penguji I

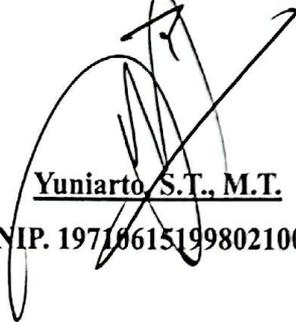
Penguji II

Penguji III



Dista Yoel Tadeus, S.T., M.T.

NIP. 198812282015041002



Yuniarto, S.T., M.T.

NIP. 197106151998021001

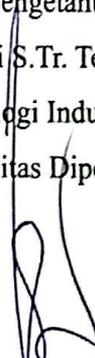


Fakhruddin Mangkusasmito, S.T., M.T.

NIP. 198908202019031012

Mengetahui,

Ketua Program Studi S.Tr. Teknik Listrik Industri
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro



Arkhan Subari, ST., M.Kom.

NIP. 197710012001121002

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Iqbal Irsyad
NIM : 40040621650068
Program Studi : S.Tr. Teknik Listrik Industri, Departemen Teknologi
Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Mesin CNC Router untuk Pencetakan
Jalur PCB Berbasis Arduino UNO

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini sepenuhnya merupakan hasil karya saya sendiri dan tidak mengandung karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar atau derajat keahlian di perguruan tinggi mana pun. Selain itu, sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat bagian dari karya atau pendapat orang lain yang digunakan tanpa memberikan rujukan secara tertulis dalam naskah ini dan mencantulkannya di daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari terbukti bahwa terdapat unsur plagiat dalam tugas akhir ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang diatur dalam Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2010 dan Buku Pedoman Tugas Akhir Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro yang berlaku.

Semarang, 01 September 2025



Muhammad Iqbal Irsyad

NIM. 40040621650068

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur dan penghargaan, laporan tugas akhir ini saya persembahkan kepada :

1. Allah SWT, atas segala kemudahan, kelancaran, dan keberkahan yang telah diberikan selama proses penyusunan alat dan laporan Tugas Akhir ini. Penulis berharap semoga senantiasa diberikan keberkahan, kemudahan, dan kelancaran dalam menapaki karir maupun pendidikan selanjutnya. *Allahumma yassir walaa tu'assir. Ya Allah, mudahkanlah dan janganlah Engkau persulit. Aamiin.*
2. Bapak dan Ibu tercinta, atas doa, dukungan moril maupun materil, serta semangat yang tiada henti. Meskipun penulis sebagai anak masih banyak kekurangan dan kesalahan, penulis senantiasa mendoakan Bapak dan Ibu, dengan harapan kelak dapat membahagiakan serta membanggakan kalian.
3. Alm. Muhammad Fikri Irsyad, yang senantiasa penulis kenang dengan penuh doa dan kasih sayang.
4. Seluruh keluarga besar, atas doa dan dukungan yang diberikan kepada penulis
5. Diri sendiri, atas semangat, kesabaran, perjuangan, dan kerja keras dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dari awal hingga akhir
6. Bapak Fakhruddin Mangkusasmito, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing dan sosok dosen terbaik menurut saya, atas segala bimbingan, arahan, serta dukungan selama proses pembuatan dan penyelesaian laporan tugas akhir ini.
7. Seorang mahasiswi Bahasa Asing Terapan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro dengan NIM 40020521650091, sebagai pasangan yang selalu membantu, menyemangati, dan mendampingi penulis.
8. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri Universitas Diponegoro, khususnya angkatan 2021, serta anggota GRUP TOXIC yang pada saat ini beranggotakan: Agung Dwi Nugroho; Alfian Zanuvar; Athallah Dilla Setiawan; Bagus Rahmat Wi Janoko; Cahyo Nugroho; Daffa Fitriani; Jonathan Teddy Wijaya; Muhammad Faiz Ath Thoriq; Muhammad Ghafar; Muhammad Indra Ramadhan; Muhammad Syauqillah; Muhammad Wildan Hariansyah Putra; dan Rizal Krisna Saputra. Terima kasih

atas solidaritas, kerja sama, bantuan, serta semangat kebersamaan yang senantiasa hadir selama sekitar empat tahun perjalanan perkuliahan hingga tersusunya Tugas Akhir ini, dan semoga semangat tersebut terus terjaga setelah masa perkuliahan.

9. Para musisi, baik internasional maupun nasional seperti Hindia, Feby Putri, The Japanese House serta grup musik lain yang karyanya menemani penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini, dan mampu memberikan semangat di setiap langkah pengerjaan.
10. Kata-kata dari Yandy Laurens, seorang sutradara : “*Kita harus optimis namun tetap berhati-hati, dan pesimis namun tetap berharap.*” Walaupun bukan secara langsung tentang Tugas Akhir, namun kalimat ini menjadi pengingat bagi penulis untuk selalu berusaha, bersemangat, dan memberikan yang terbaik secara optimal.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, baik kawan maupun lainnya, atas kontribusi dan dukungan yang diberikan, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Semoga semua dukungan dan bantuan yang telah diberikan mendapatkan balasan kebaikan dari Allah SWT.

ABSTRAK

Penelitian ini membahas rancang bangun mesin CNC Router untuk pencetakan jalur PCB berbasis Arduino UNO dengan motor stepper NEMA 17 dan spindle DC 775. Mesin dirancang untuk area kerja 200×100 mm dan diuji pada tiga jenis desain PCB, yaitu PTH, SMD, dan Gabungan. Hasil pengujian menunjukkan akurasi pergerakan sumbu setelah kalibrasi dengan rata-rata error sebesar 0,25% (X), -0,309% (Y), dan 0,45% (Z). Pengujian jalur PCB menunjukkan jalur kecil (0,4–0,5 mm) mengalami deviasi signifikan hingga 253%, sementara jalur berukuran ≥ 1 mm relatif akurat dengan error $< 5\%$. Dimensi panjang dan lebar papan PCB memiliki error sangat kecil ($< 0,6\%$), dan seluruh jalur berhasil terhubung dengan baik. Faktor penyebab deviasi meliputi keterbatasan sistem mekanik berbasis timing belt, parameter pemotongan FlatCAM, serta material body mesin. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa mesin CNC berbasis Arduino UNO dapat digunakan untuk produksi PCB sederhana dengan konektivitas terjamin, meskipun masih diperlukan peningkatan akurasi untuk jalur berukuran kecil.

Kata kunci: CNC Router, Arduino UNO, PCB, Akurasi, FlatCAM

ABSTRACT

This study discusses the design and development of a CNC Router machine for PCB trace fabrication based on Arduino UNO, equipped with NEMA 17 stepper motors and a DC 775 spindle. The machine was designed with a working area of 200 × 100 mm and tested on three PCB design types: PTH, SMD, and Combined. The experimental results show axis movement accuracy after calibration with an average error of 0.25% (X), -0.309% (Y), and 0.45% (Z). PCB trace testing indicates that small traces (0.4–0.5 mm) experienced significant deviations of up to 253%, while traces ≥ 1 mm remained relatively accurate with errors $< 5\%$. The PCB board length and width dimensions exhibited very small errors ($< 0.6\%$), and all traces were successfully connected. Contributing factors to these deviations include the limitations of the timing belt-based mechanical system, FlatCAM cutting parameters, and the machine's body material. The results demonstrate that an Arduino UNO-based CNC machine can be applied for simple PCB production with reliable connectivity, although further improvements are required to enhance accuracy for small trace widths.

Keywords: CNC Router, Arduino UNO, PCB, Accuracy, FlatCAM.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan judul “*Rancang Bangun Mesin CNC Router untuk Pencetakan Jalur PCB Berbasis Arduino UNO*”. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar pada Program Studi Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.

Dalam penyusunan laporan ini, penulis menyadari bahwa proses tersebut tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini, antara lain :

1. Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang senantiasa memberikan dukungan dan doa.
3. Bapak Prof. Dr. Yos Johan Utama, S.H., M.Hum., selaku Rektor Universitas Diponegoro masa jabatan 2019–2024, serta Bapak Prof. Dr. Suharnomo, S.E., M.Si., selaku Rektor Universitas Diponegoro periode 2025.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Budiyo, M.Si., selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
5. Bapak Arkhan Subari, S.T., M.Kom., selaku Kepala Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri, Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
6. Bapak Fakhruddin Mangkusasmito, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
7. Seluruh dosen dan karyawan Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri, Departemen Teknologi Industri, Universitas Diponegoro, yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan ilmu yang sangat berharga selama penulis menempuh pendidikan.

8. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu, namun peran serta mereka sangat berarti dalam kelancaran proses ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, mengingat keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif untuk perbaikan dan penyempurnaan laporan ini.

Akhir kata, penulis mohon maaf jika terdapat kekurangan atau kesalahan dalam penyusunan laporan ini. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi penulis maupun bagi pihak lain yang membutuhkan.

Semarang, 01 September 2025



Muhammad Iqbal Irsyad

NIM. 40040621650068

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR	i
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Tugas Akhir.....	3
1.4 Manfaat Tugas Akhir.....	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Metode Penyusunan	5
1.7 Sistematika Laporan Tugas Akhir	6
BAB II LANDASAN TEORI	9
2.1. Tinjauan Pustaka	9
2.2. Dasar Teori.....	10
2.2.1. Mesin CNC (Computer Numerical Control).....	10
2.2.2. PCB (Printed Circuit Board).....	13
2.2.3. Arduino Uno	15
2.2.4. CNC Shield Arduino Uno & Driver TMC2209	17
2.2.5. Power Supply	26

2.2.6.	Motor Stepper NEMA 17.....	27
2.2.7.	MCB (Miniature Circuit Breaker)	31
2.2.8.	Cooling Fan.....	32
2.2.9.	Limit Switches	33
2.2.10.	LCD Display & I2C	34
2.2.11.	Arduino Nano.....	34
2.2.12.	Motor DC 775	35
2.2.13.	Relay Modul 5V Single-Channel.....	36
2.2.14.	Emergency & NO Push Button.....	37
2.2.15.	Pilot Lamp.....	39
2.2.16.	Watt Meter DC Digital.....	40
2.2.17.	Kabel Jumper / Pita.....	40
2.2.18.	Aluminium Profile V-Slot 2020	40
2.2.19.	Filamen 3D Printer.....	41
2.2.20.	Roda V Wheel 625ZZ	42
2.2.21.	Idler Pulley 2GT 20T 5mm dan Timing Belt GT2 6mm	42
2.2.22.	Besi Assental.....	43
2.2.23.	Lead Screw dan T Nut T8 Lead 8 Pitch 2mm 4Start	44
2.2.24.	Pulley Coupling	44
2.2.25.	Mini Drill Chuck.....	45
2.2.26.	Mata Bor	45
2.2.27.	Box Panel.....	47
2.2.28.	Mur & Baut.....	48
2.2.29.	GRBL Firmware	48
2.2.30.	Software Eagle	55
2.2.31.	Software Flatcam	59
2.2.32.	Software Universal G-Code Sender (UGS).....	63
BAB III PERANCANGAN ALAT		77
3.1.	Metode Pembuatan Alat.....	77
3.1.1.	Metode Rancang Bangun Alat	77
3.1.2.	Metode Penelitian / Pengujian Alat.....	77
3.2.	Perancangan Sistem Hardware	78

3.2.1.	Blok Diagram.....	79
3.2.2.	Perancangan Sistem Wiring Diagram	82
3.2.3.	Perancangan Sistem Mekanik	86
3.2.4.	Spesifikasi Rancang Bangun Mesin CNC	89
3.3.	Perancangan Sistem Software.....	90
3.3.1	Skema dan Cara Kerja Flowchart	91
BAB IV PEMBUATAN ALAT		96
4.1.	Pembuatan Hardware	96
4.1.1.	Rancangan Mekanik.....	96
4.1.2.	Rancangan Elektrik.....	104
4.2.	Pembuatan Software	109
4.2.1.	Proses GRBL Firmware	109
4.2.2.	Proses Software Eagle.....	112
4.2.3.	Proses Software Flatcam.....	118
4.2.4.	Proses Software UGS.....	133
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT		149
5.1.	Tujuan Pengujian dan Pengukuran	149
5.2.	Peralatan Pengujian dan Pengukuran.....	149
5.3.	Prosedur Pengujian dan Pengukuran	150
5.4.	Pengujian dan Analisa Alat	152
5.4.1.	Metodologi Pengujian.....	152
5.4.2.	Parameter FlatCAM.....	153
5.4.3.	Pengujian Akurasi Pergerakan Sumbu CNC.....	155
5.4.4.	Pengujian Jalur PCB	166
5.4.5.	Analisa dan Grafik Visualisasi Hasil Pengujian Akurasi Pergerekan Sumbu CNC serta Jalur PCB.....	179
BAB VI PENUTUP		189
6.1.	Kesimpulan	189
6.2.	Saran	190
DAFTAR PUSTAKA		192
LAMPIRAN.....		195

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mesin CNC.....	10
Gambar 2.2 PCB (Printed Circuit Board)	13
Gambar 2.3 Arduino Uno.....	15
Gambar 2.4 CNC Shield V3 Arduino Uno.....	17
Gambar 2.5 Driver Motor TMC2209.....	17
Gambar 2.6 Koneksi Pin Arduino Uno	18
Gambar 2.7 CNC Shield Circuit Diagram	19
Gambar 2.8 Koneksi Driver TMC2209	21
Gambar 2.9 Power Supply 12 VDC	26
Gambar 2.10 Jenis Lilitan Motor Stepper	28
Gambar 2.11 Motor Stepper Nema 17	28
Gambar 2.12 Gambar Diagram Pulsa STEP Motor Stepper	29
Gambar 2.13 MCB (Miniature Circuit Breaker).....	31
Gambar 2.14 Cooling Fan.....	32
Gambar 2.15 Limit Switch.....	33
Gambar 2.16 LCD Display & I2C	34
Gambar 2.17 Arduino Nano	34
Gambar 2.18 Motor DC 775	35
Gambar 2. 19 Modul Relay 5V Single-Channel	36
Gambar 2. 20 Emergency Push Button	37
Gambar 2. 21 Push Button NO (Normally Open).....	38
Gambar 2. 22 Pilot Lamp.....	39
Gambar 2. 23 Watt Meter DC	40
Gambar 2. 24 Kabel Pita	40
Gambar 2. 25 Aluminium Profile V-Slot 2020.....	40
Gambar 2. 26 Hasil Cetak Filamen 3D Print	41
Gambar 2. 27 Roda V Wheel 625ZZ	42
Gambar 2. 28 Idler Pulley 2GT 20T 5mm	42
Gambar 2. 29 Timing Belt GT2 6mm	43

Gambar 2. 30 Besi Assental	43
Gambar 2. 31 Lead Screw dan T Nut T8 Lead 8 Pitch 2mm 4Start	44
Gambar 2. 32 Pulley Coupling.....	44
Gambar 2. 33 Mini Drill Chuck.....	45
Gambar 2. 34 V-Bit dan End Mill	46
Gambar 2. 35 Box Panel	47
Gambar 2. 36 Mur dan Baut.....	48
Gambar 2. 37 Skema Alur GRBL	48
Gambar 2. 38 Tampilan Program GRBL pada Arduino IDE	49
Gambar 2. 39 Tampilan Layout Rangkaian Schematic & Board Software Eagle	55
Gambar 2. 40 Tabel Lebar Jalur Rangkaian PCB	58
Gambar 2. 41 Tampilan Software Flatcam.....	59
Gambar 2. 42 Fitur Calculators Tool Flatcam.....	62
Gambar 2. 43 Tampilan & Menu Toolbox Software Universal Gcode Sender (UGS)	63
.....	63
Gambar 2. 44 Firmware Setting Universal G-Code Sender (UGS).....	70
Gambar 3. 1 Blok Diagram	79
Gambar 3. 2 Illustrative Wiring Diagram	82
Gambar 3. 3 Ilustrasi 3D Pemasangan Komponen pada Panel (Wiring Diagram)	86
Gambar 3. 4 Desain 3D Mesin CNC.....	86
Gambar 3. 5 Explode View Desain 3D Mesin CNC	87
Gambar 3. 6 Skema Flowchart Sistem Prosedur Alat.....	91
Gambar 3. 7 Flowchart Algoritma Homing & Autolevel.....	92
Gambar 3. 8 Skema Flowchart Program Alat	94
Gambar 4. 1 Pemotongan Aluminium Profil 2020.....	98
Gambar 4. 2 Pemotongan Besi Assental 5mm	98
Gambar 4. 3 Pembuatan ulir pada profil aluminium 2020.....	98
Gambar 4. 4 Pengamplasan Besi Assental 5mm.....	99
Gambar 4. 5 Pemasangan Rangka Kaki Mesin CNC.....	99
Gambar 4. 6 Pemasangan Rangka Tiang Samping Kanan dan Kiri serta Roda V- Wheel	99

Gambar 4. 7 Pemasangan Aluminium Profil 2020 dan Timing Belt GT2 Lebar 6mm untuk Rangka Atas	100
Gambar 4. 8 Pemasangan Roda V-Wheel pada Rangka Atas	100
Gambar 4. 9 Pemasangan Pulley 2GT 20T pada Motor Stepper Nema 17 sumbu X	100
Gambar 4. 10 Pemasangan Limit Switch sumbu Z dan Motor Stepper Nema 17 sumbu X pada Rangka Atas	101
Gambar 4. 11 Pemasangan Bearing 608ZZ pada Rangka Atas.....	101
Gambar 4. 12 Pemasangan T-nut T8 lead 8 pitch 2 mm 4 start pada Rangka Spindle	101
Gambar 4. 13 Pemasangan Rangka Spindle dan Besi Assental pada Rangka Atas	102
Gambar 4. 14 Pemasangan Motor Stepper NEMA 17 sumbu Z, Coupling, dan Lead Screw T8 pada Rangka Spindle dan Rangka Atas	102
Gambar 4. 15 Pemasangan dan Perakitan Seluruh Komponen Sumbu X, Y, dan Z	103
Gambar 4. 16 Pemasangan Timing Belt GT 2 pada sumbu Y	103
Gambar 4. 17 Pemasangan Limit Switch.....	103
Gambar 4. 18 Pemasangan Motor Spindle.....	104
Gambar 4. 19 Pemasangan Latar / Bed (Meja Kerja)	104
Gambar 4. 20 Hasil Perakitan Hardware Mekanik	104
Gambar 4. 21 Layout dan pengukuran posisi lubang pada panel	106
Gambar 4. 22 Pengeboran pada box panel.....	107
Gambar 4. 23 Pemasangan Komponen pada Box Panel	107
Gambar 4. 24 Pemasangan Kabel pada Setiap Komponen	107
Gambar 4. 25 Pengukuran Tegangan Referensi (VRef) Driver TMC2209.....	108
Gambar 4. 26 Perapian Kabel-Kabel komponen.....	108
Gambar 4. 27 Hasil Perakitan Hardware Elektrik.....	109
Gambar 4. 28 Proses Membuka Aplikasi Arduino IDE	110
Gambar 4. 29 Proses Unduh Firmware GRBL	110
Gambar 4. 30 Proses Ekstrak File GRBL	111

Gambar 4. 31 Pemilihan File grblUpload.ino	111
Gambar 4. 32 Proses Unggah Library GRBL	112
Gambar 4. 33 Proses Membuka Aplikasi Autodesk Eagle.....	113
Gambar 4. 34 Pemilihan Menu Projects	113
Gambar 4. 35 Pemilihan Menu Schematic.....	114
Gambar 4. 36 Pemilihan Menu Add Part	114
Gambar 4. 37 Pengkoneksian Komponen-komponen.....	115
Gambar 4. 38 Proses Konversi ke tampilan Board	115
Gambar 4. 39 Pembuatan Layout Board PCB	116
Gambar 4. 40 Proses Konversi ke File Gerber.....	117
Gambar 4. 41 Tampilan Hasil File Gerber	117
Gambar 4. 42 Proses Open File Gerber	118
Gambar 4. 43 Proses Input File gerber.....	119
Gambar 4. 44 Proses Open File Excellon	119
Gambar 4. 45 Proses Input File drill	120
Gambar 4. 46 Penempatan File Gerber dan Excellon di Dekat Titik Koordinat X0 Y0.....	120
Gambar 4. 47 Pemilihan Menu Isolation Routing GRBL Object	121
Gambar 4. 48 Menu Isolation Routing.....	121
Gambar 4. 49 Proses Geometry Object Copper Wire	124
Gambar 4. 50 Proses Save CNC Code Copper Wire	127
Gambar 4. 51 Proses Pemilihan Lubang & Drilling Tool.....	128
Gambar 4. 52 Proses Drilling Tool.....	128
Gambar 4. 53 Save CNC Code drill.....	130
Gambar 4. 54 Proses Cutout Tool Profile	131
Gambar 4. 55 Proses Geometry Profile.....	132
Gambar 4. 56 Proses Save CNC Code Profile	133
Gambar 4. 57 Proses Koneksi UGS	134
Gambar 4. 58 Indikasi Koneksi GRBL.....	135
Gambar 4. 59 Menu Setup Wizard.....	135
Gambar 4. 60 Connection pada Setup Wizard	136

Gambar 4. 61 Import Settings pada Setup Wizard.....	137
Gambar 4. 62 Motor Wiring pada Setup Wizard.....	137
Gambar 4. 63 Step Calibration Setup Wizard	138
Gambar 4. 64 Proses Step Calibration Mesin CNC	139
Gambar 4. 65 Limit Switches Setup Wizard.....	140
Gambar 4. 66 Homing Setup Wizard	141
Gambar 4. 67 Soft Limits Setup Wizard	141
Gambar 4. 68 Proses Settings Firmware Machine	142
Gambar 4. 69 Proses Input File Gcode	143
Gambar 4. 70 Proses Titik Nol pada Benda Kerja (PCB).....	144
Gambar 4. 71 Proses Reset Zero pada UGS	144
Gambar 4. 72 Proses Waterpass Test pada Bed Mesin CNC	145
Gambar 4. 73 Proses Autoleveler pada PCB.....	146
Gambar 4. 74 Proses Autoleveler pada UGS	147
Gambar 4. 75 Proses kirim File G-Code.....	148
Gambar 4. 76 Proses Running Mesin CNC	148
Gambar 5. 1 Proses Pengukuran Akurasi Pergerakan Sumbu CNC	155
Gambar 5. 2 Hasil Pengujian PCB.....	166
Gambar 5. 3 Proses Pengukuran Lebar Jalur PCB.....	167
Gambar 5. 4 Proses Pengukuran Konektivitas Jalur PCB.....	167
Gambar 5. 5 Rata-Rata Mutlak Error Mesin CNC (%).....	180
Gambar 5. 6 Radar Chart Hasil Pengujian Akurasi Rata-Rata Lebar jalur PCB PTH	182
Gambar 5. 7 Radar Chart Hasil Pengujian Akurasi Rata-Rata Lebar jalur PCB SMD	184
Gambar 5. 8 Radar Chart Hasil Pengujian Akurasi Rata-Rata Lebar jalur PCB Gabungan	186

DAFTAR TABEL

Tabel 2- 1 Spesifikasi Arduino Uno	16
Tabel 2- 2 Koneksi CNC Shield Circuit Diagram.....	20
Tabel 2- 3 Spesifikasi Driver TMC2209	23
Tabel 2- 4 Mikrostepping Driver TMC2209	24
Tabel 2- 5 Spesifikasi Power Supply 12VDC	27
Tabel 2- 6 Spesifikasi Motor Stepper Nema 17	29
Tabel 2- 7 Spesifikasi Motor DC 775	36
Tabel 2- 8 Spesifikasi Modul Relay 5V Single-Channel	37
Tabel 2- 9 Struktur File GRBL.....	51
Tabel 2- 10 Penjelasan Isi File config.h GRBL	53
Tabel 2- 11 Fungsi Toolbar pada Eagle.....	56
Tabel 2- 12 Parameters Settings Flatcam	60
Tabel 2- 13 Contoh Program G-code	65
Tabel 2- 14 Fungsi & Keterangan G-code	66
Tabel 2- 15 Fungsi & Keterangan M-code.....	69
Tabel 2- 16 Parameter Setting Firmware UGS	71
Tabel 2- 17 Perintah \$ GRBL dan Fungsinya	74
Tabel 2- 18 Penjelasan Komponen Status Console.....	75
Tabel 2- 19 Daftar Status Mode pada Console UGS (GRBL)	76
Tabel 3- 1 Pemasangan Pin Komponen Wiring Diagram	83
Tabel 3- 2 Bagian-bagian Rangka Mesin CNC.....	87
Tabel 4- 1 Alat dan Bahan Pembuatan Hardware Mekanik	96
Tabel 4- 2 Alat dan Bahan Pembuatan Hardware Elektrik	105
Tabel 4- 3 Jenis-jenis Tool Type di Flatcam.....	122
Tabel 4- 4 Tools Table (Tabel Alat Potong).....	125
Tabel 4- 5 Parameters for Tool.....	125
Tabel 4- 6 Common Parameters.....	126
Tabel 4- 7 Transformations	127
Tabel 5- 1 Jenis Desain PCB.....	152

Tabel 5- 2 Parameter Flatcam pada Layer Copper_top untuk Isolation Tool dan Geometry Object.....	154
Tabel 5- 3 Hasil Akurasi Pergerakan Sumbu X (1 mm).....	156
Tabel 5- 4 Hasil Akurasi Pergerakan Sumbu X (10 mm).....	156
Tabel 5- 5 Hasil Rata-Rata Akurasi Sumbu X	157
Tabel 5- 6 Hasil New Travel Resolution Sumbu X.....	157
Tabel 5- 7 Hasil Akurasi Pergerakan Sumbu Y (1 mm).....	157
Tabel 5- 8 Hasil Akurasi Pergerakan Sumbu Y (10 mm).....	158
Tabel 5- 9 Hasil Rata-Rata Akurasi Sumbu Y.....	158
Tabel 5- 10 Hasil New Travel Resolution Sumbu Y	159
Tabel 5- 11 Hasil Akurasi Pergerakan Sumbu Z (-1 mm).....	159
Tabel 5- 12 Hasil Akurasi Pergerakan Sumbu Z (-10 mm).....	160
Tabel 5- 13 Hasil Rata-Rata Akurasi Sumbu Z.....	160
Tabel 5- 14 Hasil New Travel Resolution Sumbu Z	160
Tabel 5- 15 Hasil Akurasi Kalibrasi Pergerakan Sumbu X (1 mm).....	161
Tabel 5- 16 Hasil Akurasi Kalibrasi Pergerakan Sumbu X (10 mm).....	162
Tabel 5- 17 Hasil Rata-Rata Akurasi Kalibrasi Sumbu X.....	162
Tabel 5- 18 Hasil Akurasi Kalibrasi Pergerakan Sumbu Y (1 mm)	163
Tabel 5- 19 Hasil Akurasi Kalibrasi Pergerakan Sumbu Y (10 mm)	163
Tabel 5- 20 Hasil Rata-Rata Akurasi Kalibrasi Sumbu Y	164
Tabel 5- 21 Hasil Akurasi Kalibrasi Pergerakan Sumbu Z (-1 mm)	164
Tabel 5- 22 Hasil Akurasi Kalibrasi Pergerakan Sumbu Z (-10 mm)	165
Tabel 5- 23 Hasil Rata-Rata Akurasi Kalibrasi Sumbu Z	165
Tabel 5- 24 Hasil Rata-Rata Error Akurasi Sumbu CNC (%).....	166
Tabel 5- 25 Hasil Rata-Rata Mutlak Error Akurasi Mesin CNC (%)	166
Tabel 5- 26 Hasil Pengujian Jalur PCB PTH (Percobaan 1).....	168
Tabel 5- 27 Hasil Pengujian Jalur PCB PTH (Percobaan 2).....	169
Tabel 5- 28 Hasil Pengujian Jalur PCB PTH (Percobaan 3).....	170
Tabel 5- 29 Hasil Rata-Rata Pengujian PCB PTH.....	171
Tabel 5- 30 Hasil Pengujian Jalur PCB SMD (Percobaan 1).....	171
Tabel 5- 31 Hasil Pengujian Jalur PCB SMD (Percobaan 2).....	172

Tabel 5- 32 Hasil Pengujian Jalur PCB SMD (Percobaan 3).....	173
Tabel 5- 33 Hasil Rata-Rata Pengujian PCB SMD	174
Tabel 5- 34 Hasil Pengujian Jalur PCB Gabungan (Percobaan 1)	175
Tabel 5- 35 Hasil Pengujian Jalur PCB Gabungan (Percobaan 2)	176
Tabel 5- 36 Hasil Pengujian Jalur PCB Gabungan (Percobaan 3)	177
Tabel 5- 37 Hasil Rata-Rata Pengujian PCB Gabungan	178

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Pengujian Akurasi Sumbu CNC	195
Lampiran 2 Dokumentasi Pengujian Jalur PCB.....	197
Lampiran 3 Datasheet CNC Shield V3.0	199
Lampiran 4 Datasheet Driver TMC2209	203
Lampiran 5 Datasheet Motor Stepper Nema 17 17HS8401.....	208
Lampiran 6 Datasheet Motor DC 775	209
Lampiran 7 Datasheet Arduino Uno	210
Lampiran 8 Datasheet Arduino Nano.....	214
Lampiran 9 Datasheet LCD 16 x 2	218
Lampiran 10 Program Arduino Nano (LCD Display).....	220