

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi elektronika yang pesat saat ini mendorong kebutuhan akan proses produksi yang lebih efisien, presisi, dan ramah lingkungan. Salah satu komponen utama dalam sistem elektronika adalah *Printed Circuit Board (PCB)*, yang berfungsi sebagai media penghubung antar komponen elektronik tanpa kabel. Namun, proses pembuatan PCB secara konvensional umumnya masih mengandalkan metode kimiawi, seperti pelarutan tembaga menggunakan *ferri klorida* ($FeCl_3$) atau penggunaan bahan berbasis *DEET* seperti *lotion* anti-nyamuk untuk proses transfer jalur. Metode ini selain kurang efisien juga menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan dan lingkungan, karena *ferri klorida* bersifat korosif dan dapat merusak jaringan tubuh [1], sementara *DEET* dapat menimbulkan reaksi alergi pada kulit manusia [2].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, teknologi *Computer Numerical Control (CNC)* mulai diterapkan dalam proses pencetakan PCB. CNC mampu menggantikan metode tradisional dengan pendekatan yang lebih akurat, bersih, dan hemat waktu. Dalam sistem ini, mesin CNC membaca perintah berupa G-code untuk menggerakkan aktuator pada sumbu X, Y, dan Z secara otomatis. Salah satu solusi praktis adalah merancang mesin CNC skala kecil menggunakan mikrokontroler Arduino UNO, driver TMC2209, serta motor stepper NEMA 17 sebagai penggerak sumbu XYZ. Untuk proses pemotongan atau penggambaran jalur, digunakan motor DC 775 sebagai spindle.

Dari sisi perangkat lunak, proyek ini mengandalkan kombinasi software Eagle, FlatCAM, dan *Universal G-code Sender (UGS)*. Eagle digunakan untuk mendesain layout PCB dan menghasilkan file Gerber. File tersebut kemudian diproses menggunakan FlatCAM untuk dikonversi menjadi G-code, dengan parameter yang dapat disesuaikan. G-code ini akhirnya dieksekusi menggunakan UGS yang kompatibel dengan firmware GRBL pada Arduino UNO, sekaligus memungkinkan monitoring dan kalibrasi gerakan mesin dengan antarmuka yang sederhana namun

fungsional. Pemilihan ketiga software ini didasarkan pada dokumentasi yang luas, komunitas pendukung aktif, serta kemudahan integrasi dalam workflow pembuatan PCB.

Arduino UNO dipilih karena bersifat *open-source*, memiliki pustaka (library) luas, serta mendukung komunikasi USB, pin digital I/O, dan kristal osilator 16 MHz [3][4]. Arduino UNO juga dikenal kompatibel dengan driver stepper TMC2209 dan firmware GRBL, menjadikannya pilihan ideal untuk proyek-proyek edukatif dan prototipe berskala kecil. Meskipun terdapat alternatif seperti Arduino Mega, ESP32, atau STM32, Arduino UNO tetap dipilih karena kesederhanaan implementasi dan efektivitas biaya.

Pemilihan motor stepper NEMA 17 didasarkan pada ukurannya yang ringkas, torsi memadai untuk beban ringan hingga menengah, serta kestabilan dalam sistem open-loop. Sedangkan motor DC 775 dengan kecepatan 12.000 RPM digunakan sebagai spindle karena mudah ditemukan, hemat biaya, dan dapat diintegrasikan dengan dukungan sederhana. Kombinasi ini cukup untuk memenuhi kebutuhan proses pencetakan jalur PCB secara presisi.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, kombinasi Arduino UNO dan software Proteus telah mampu menghasilkan kesalahan pergerakan yang rendah, yaitu 0,86% pada sumbu X, 0,95% pada sumbu Y, dan 1,3% pada sumbu Z [3]. Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini, penulis mengembangkan sistem rancang bangun mesin CNC untuk pencetakan jalur PCB dengan optimalisasi desain perangkat keras dan integrasi perangkat lunak, guna mencapai tingkat akurasi dan efisiensi yang lebih baik dalam proses manufaktur PCB skala kecil.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dapat diidentifikasi sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan membangun mesin CNC berbasis Arduino UNO yang mampu mencetak jalur PCB satu lapis secara presisi menggunakan motor stepper NEMA 17 dan motor spindel DC 775?

2. Bagaimana melakukan pengujian akurasi gerak sumbu X, Y, dan Z secara sistematis dengan membandingkan antara perintah gerak dan hasil aktual menggunakan alat ukur *vernier caliper*?
3. Bagaimana menguji kualitas hasil pencetakan jalur PCB, termasuk ketepatan lebar jalur, kejernihan grafir, serta konektivitas antarjalur melalui pengukuran dan pengamatan visual terhadap desain PCB PTH, SMD, dan gabungan PTH & SMD?

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Berdasarkan dari rumusan masalah diatas, adapun tujuan penulisan tugas akhir ini yaitu :

1. Merancang dan membangun mesin CNC berbasis Arduino UNO yang mampu mencetak jalur PCB fiber secara presisi menggunakan software CAD untuk desain mekanik serta CAM untuk konversi file G-code.
2. Melakukan pengujian akurasi pergerakan sumbu X, Y, dan Z untuk mengukur ketepatan posisi dengan menggunakan alat ukur seperti *vernier caliper*, guna memastikan kesesuaian gerak dengan instruksi G-code.
3. Melakukan pengujian terhadap hasil jalur PCB fiber yang diukir, meliputi ketepatan dimensi, kualitas ukiran, dan keberfungsian antarjalur, melalui evaluasi visual, pengukuran aktual hasil ukiran, serta uji konektivitas menggunakan multimeter berdasarkan tiga desain:
 - Desain 1: PCB PTH (Plated Through Hole)
 - Desain 2: PCB SMD (Surface Mount Device)
 - Desain 3: PCB gabungan PTH & SMD (lebar jalur : 0,4 mm, 0,5 mm, 0,8 mm, 1,6 mm, 2,5 mm, 3,2 mm, 4 mm, 5 mm, dan 6,4 mm).

1.4 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat Tugas Akhir "*Rancang Bangun Mesin CNC Router untuk Pencetakan Jalur PCB Berbasis Arduino UNO*" secara teoritis adalah untuk memberikan pemahaman lebih baik tentang cara menggunakan mesin CNC untuk membuat PCB dengan bantuan Arduino UNO dan software Eagle.

Penelitian ini menguji tentang pengendalian motor stepper melalui Mikrokontroller Arduino Uno. Hasilnya diharapkan dapat menambah pengetahuan tentang cara membuat mesin CNC yang lebih efisien dan dapat digunakan dalam bidang teknik.

1.5 Batasan Masalah

Dalam pelaksanaan proyek "Rancang Bangun Mesin CNC untuk Pencetakan Jalur PCB Berbasis Arduino UNO dengan Motor Stepper NEMA 17 dan Spindle Motor 775", beberapa pembatasan masalah ditetapkan untuk memastikan fokus dan keberhasilan penyelesaian tugas akhir. Adapun pembatasan masalah dalam proyek ini adalah sebagai berikut :

1. Area Kerja dan Tipe PCB

Mesin dirancang dengan area kerja maksimum $200 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ dan hanya diperuntukkan bagi pembuatan jalur PCB tembaga satu sisi (*single layer*). Mesin tidak mendukung pembuatan *multilayer*, *via plating*, atau penambahan *solder mask*.

2. Jenis dan Ukuran Alat Potong

Alat pemotong dibatasi pada *V-Bit* dengan sudut 30° dengan ujung 0,1 mm untuk proses *engraving* jalur, serta *end mill* 0,8 mm untuk pengeboran. Parameter pemotongan disesuaikan menggunakan FlatCAM untuk setiap tool.

3. Mekanisme Penggerak

- Sumbu X dan Y menggunakan sistem transmisi berbasis timing belt GT2 dengan idler pulley 20T (2GT 20 teeth)
- Sumbu Z menggunakan lead screw tipe T8 (Lead 8 mm, pitch 2 mm, 4 start) yang dipadukan dengan T-Nut T8 sebagai penggerak linear

4. Perintah Kontrol

Sistem menggunakan firmware GRBL, sehingga hanya dapat menerima perintah dalam format G-code. Semua desain PCB dikonversi terlebih dahulu dari Eagle ke G-code melalui FlatCAM.

5. Toleransi Akurasi Pergerakan

Sistem bekerja secara open-loop tanpa umpan balik posisi. Toleransi akurasi ditetapkan $\pm 0,3$ mm untuk pergerakan sumbu X, Y, dan Z.

6. Spindel Motor

Spindel menggunakan motor DC 775 (12 VDC, 12.000 RPM) dengan kecepatan tetap. Pengendalian hanya berupa ON/OFF melalui modul relay tanpa kontrol kecepatan variabel.

7. Batas Minimum Jalur dan Jarak Antarjalur

Mesin CNC ini hanya ditargetkan untuk jalur dengan lebar minimal 0,4 mm dan jarak antarjalur minimum 0,6 mm yang ditentukan berdasarkan kemampuan pemotongan *tool V-Bit* dan akurasi mesin.

8. Jenis Desain PCB yang Diuji

Pengujian hasil ukiran jalur hanya difokuskan pada tiga jenis desain yaitu:

- Desain PCB PTH (jalur 0,4 mm),
- Desain PCB SMD (jalur 0,4 mm),
- Desain gabungan PTH & SMD (jalur 0,4 mm, 0,5 mm, 0,8 mm, 1,6 mm, 2,5 mm, 3,2 mm, 4 mm, 5 mm, dan 6,4 mm)

9. Jenis Gerakan Mesin

Mesin hanya mendukung gerakan linier pada sumbu X, Y, dan Z, tanpa interpolasi rotasi atau kontrol sumbu tambahan.

1.6 Metode Penyusunan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menggunakan beberapa metode untuk penyusunan tugas akhir, yaitu :

1. Studi Literatur

Metode Literatur adalah metode yang dilakukan dengan cara mengumpulkan dan mempelajari teori-teori yang terdapat dalam sumber literatur, baik itu buku, artikel, maupun tulisan lainnya yang dapat dijadikan referensi dalam penyusunan laporan. Referensi juga dapat diperoleh dari internet, makalah, dan jurnal yang memiliki sumber yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan.

2. Rancang Bangun

Metode ini merupakan tahap dalam perancangan yang mencakup perancangan perangkat lunak, dan perangkat keras alat yang akan digunakan dalam penelitian ini.

3. Bimbingan

Proses yang dilakukan oleh mahasiswa dengan arahan dari dosen pembimbing, yang bertujuan untuk memastikan pembuatan tugas akhir berjalan lancar dan minim kendala selama proses penelitian.

4. Pengujian

Metode pengujian ini dilakukan setelah pembuatan alat selesai, untuk memastikan apakah alat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya.

5. Analisa

Metode analisis akan dilakukan setelah memperoleh hasil pengukuran dan pengujian. Analisis ini akan dilakukan terhadap data hasil pengujian yang diperoleh, kemudian dibandingkan dengan referensi yang didapat dari literatur yang relevan dengan topik pembahasan.

1.7 Sistematika Laporan Tugas Akhir

Sistematika Penulisan Laporan Tugas Akhir ini terdiri dari beberapa Bab, diantaranya :

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

HALAMAN PERSEMBAHAN

ABSTRAK

Abstrak adalah ringkasan singkat dari seluruh laporan Tugas Akhir. Biasanya berisi tujuan, metode yang digunakan, temuan utama, dan kesimpulan. Abstrak harus singkat, padat, dan memberikan gambaran umum tentang Tugas Akhir yang dilakukan.

ABSTRACT

An abstract is a brief summary of the entire Final Project report. It typically includes the objectives, methods used, key findings, and conclusions. The abstract should be concise, clear, and provide an overview of the Final Project conducted.

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR LAMPIRAN

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, serta sistematika dari alat beserta laporan tugas akhir.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka dan dasar teori dari komponen penyusun sebagai referensi serta dasar untuk menunjang pembuatan alat serta laporan tugas akhir.

BAB III PERANCANGAN TUGAS AKHIR

Bab ini menjelaskan tentang tahapan perancangan hardware maupun software, yang dilengkapi dengan penjelasan penjelasan blok diagram serta flowchart dari sistem kerja alat tugas akhir.

BAB IV PEMBUATAN ALAT

Bab ini menjelaskan tentang tahapan pembuatan hardware maupun software serta alat dan bahan yang digunakan untuk alat tugas akhir.

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT

Bab ini menjelaskan tentang pengukuran dan pengujian alat dengan tujuan untuk memastikan bahwa rangkaian alat yang dibuat telah sesuai dengan apa yang direncanakan sebelumnya.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari alat yang telah dibuat serta saran untuk pengembangan tugas akhir kedepannya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN