

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

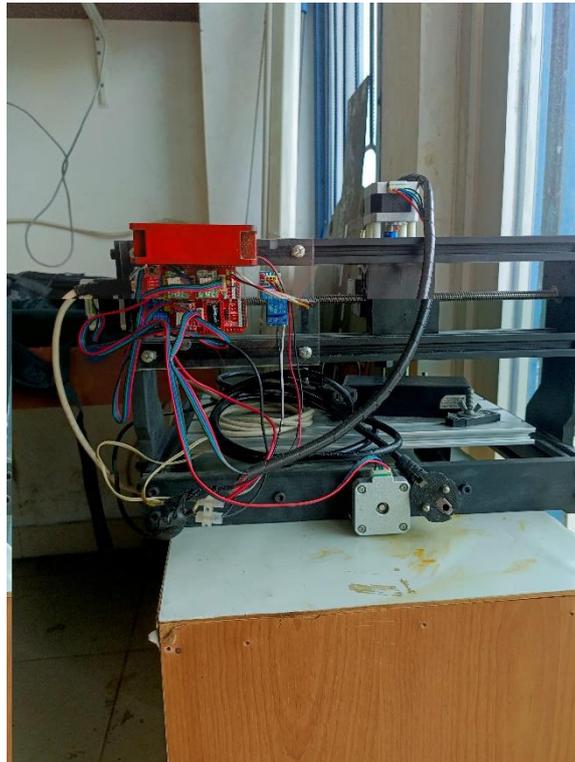
#### **4.1 Relasi Perangkat Keras**

Rangkaian telah diperiksa dan dipastikan beroperasi sesuai yang diharapkan, melalui tahap pengujian yang teliti dan pengamatan langsung terhadap jalur dan komponen dari setiap rangkaian yang dibuat. Hasil pembuatan Skema Jalur PCB tersebut menunjukkan apakah rangkaian yang disusun berfungsi dengan baik atau tidak, sehingga jalur skema PCB yang dibuat tidak cacat. Gambar Realisasi Perangkat keras Mesin Cnc Router Berbasis Arduino Untuk Pembuatan Skema Jalur Pada Pcb (*Printed Circuit Board*). Pada gambar dibawah memperlihatkan bentuk fisik dari alat Mesin CNC Router yang dapat *dapat dilihat pada gambar*



**Gambar 4. 1 Mesin CNC Router tampak depan**

Rangkaian fisik itu sendiri terdiri dari Arduino Uno R3 sebagai mikrokontroler, Cnc Shield sebagai control penggerak dari motor stepper, stepper sebagai penggerak dan motor DC sebagai mata transisi mata bor pengukiran yang dapat dilihat pada bagian belakang. Gambar Rangkaian fisik dapat dilihat pada



**Gambar 4. 2 Mesin CNC Router tampak belakang**

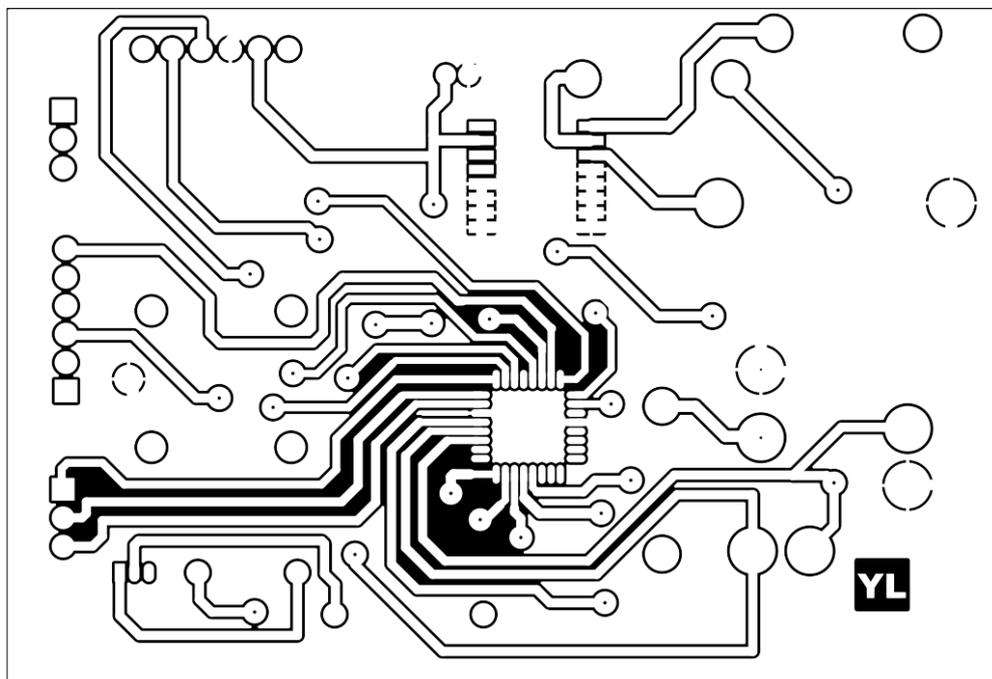
#### **4.2 Parameter Pengujian Pengukiran Jalur Skema PCB**

Parameter pengujian pada bahan PCB dilakukan untuk mengetahui bekerja atau tidaknya mesin CNC Router dengan nilai-nilai kedalaman dan kecepatan, dari mesin CNC tersebut. Dengan mengujinya berbagai jenis PCB yang diukir sesuai spesifikasi mesin CNC. Dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

**Tabel 4. 1 Tabel Pengujian**

| No | Jenis PCB      | Ukuran   |       |                       |                            |
|----|----------------|----------|-------|-----------------------|----------------------------|
|    |                | Mata Bor | Cut Z | Kecepatan X-Y (mm/sc) | Kecepatan Motor DC (mm/sc) |
| 1  | PCB Fiber Fr1  | 0,1 mm   | 0,1   | 30                    | 120.000                    |
|    |                | 0,1 mm   | 0,15  | 30                    | 120.000                    |
|    |                | 0,1 mm   | 0,06  | 30                    | 120.000                    |
| 2  | PCB Fiber Fr4  | 0,1 mm   | 0,1   | 30                    | 120.000                    |
|    |                | 0,1 mm   | 0,15  | 30                    | 120.000                    |
|    |                | 0,1 mm   | 0,06  | 30                    | 120.000                    |
| 3  | PCB Semi Fiber | 0,1 mm   | 0,1   | 30                    | 120.000                    |
|    |                | 0,1 mm   | 0,15  | 30                    | 120.000                    |
|    |                | 0,1 mm   | 0,06  | 30                    | 120.000                    |

Pengujian ini menggunakan skema seperti berikut:

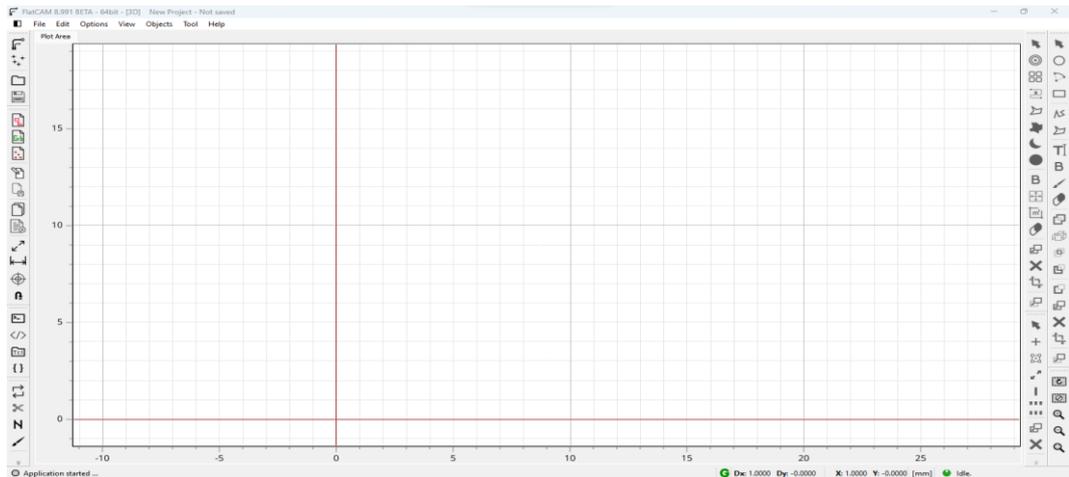


**Gambar 4. 3 Skema PCB**

### 4.3 Langkah Pengujian

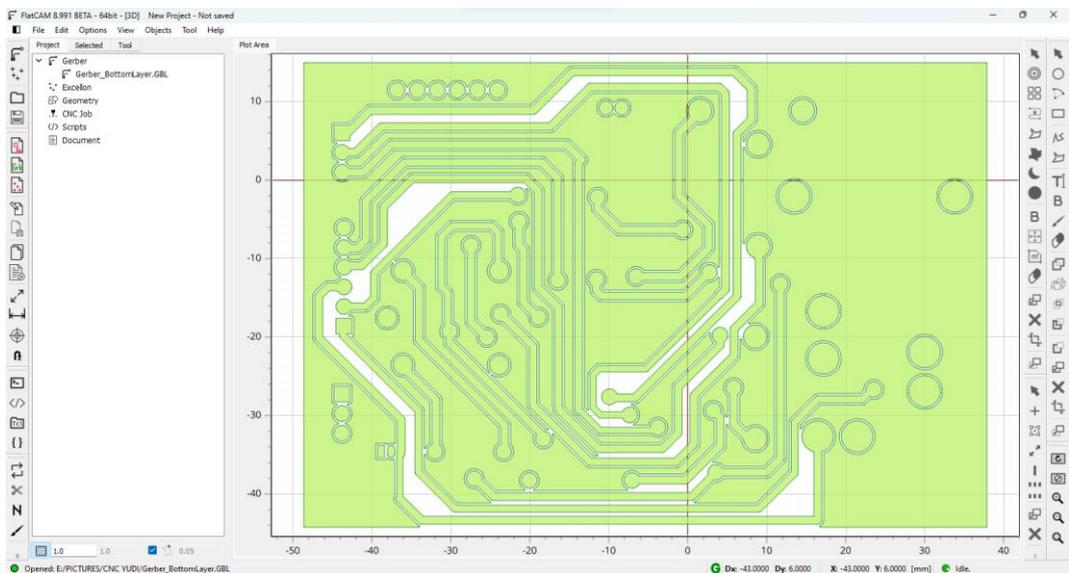
Langkah pengujian settingan CNC dengan mata bor engrav diameter 3,175 sudut kelancipan 0,1 dan sudut kemiringan  $10^\circ$  yang telah ditentukan sebagai berikut :

#### 1. Buka Software FlatCAM



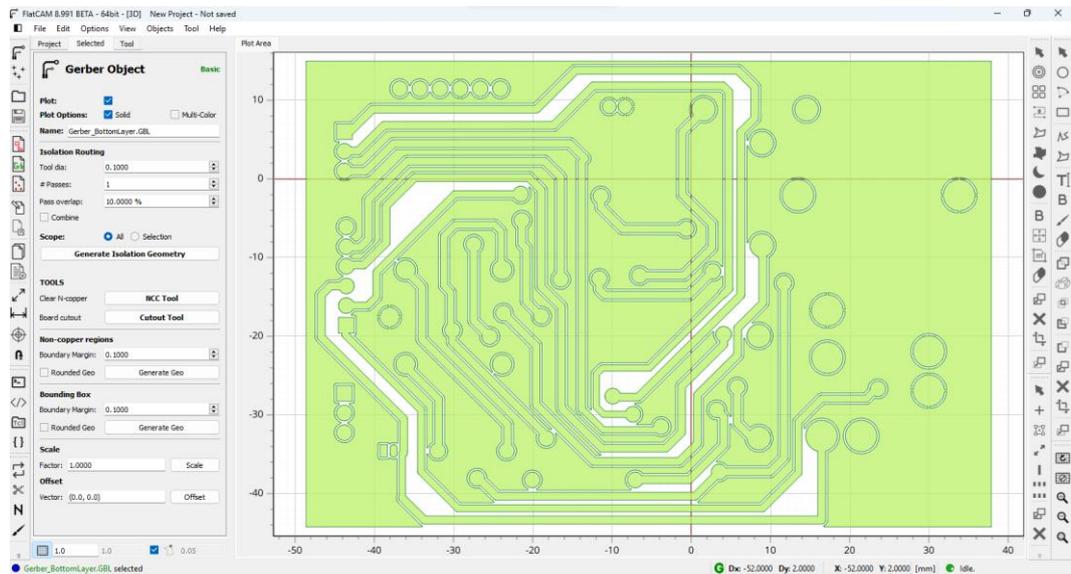
**Gambar 4. 4 Halaman Utama Software FlatCAM**

#### 2. Langkah selanjutya import Skema yang sudah dibuat melalui easyeda, proteus dalam bentuk Format (Gerber/GRBL) kedalam flatCAM



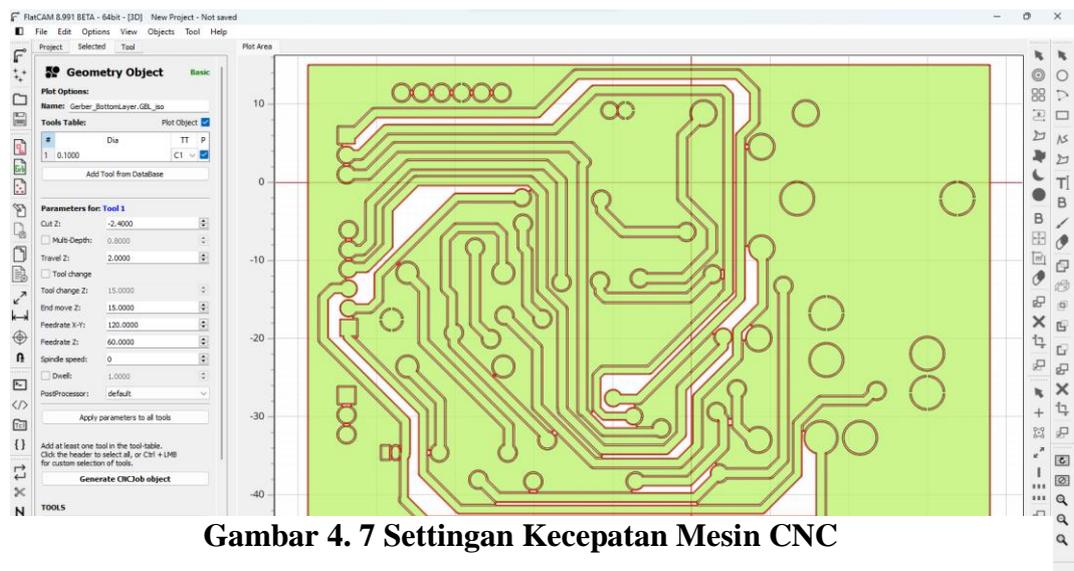
**Gambar 4. 5 Import Skema**

#### 3. Selanjutnya double klik untuk layer PCB yang akan di drill dengan nama (Gerber\_BottomLayer.GBL)



**Gambar 4. 6 Settingan Awal Software FlatCAM**

4. Selanjutnya ubah settingan yang diperlukan mulai dari Tool dia = jenis ukuran mata bor yaitu 0,1 mm = 0.1000, Passes yaitu berapa kali lewat pengeboran itu berjalan, ubah ke settingan 2 lalu ceklis combine, klik Generate Isolation Geometry.
5. Langkah selanjutnya ialah mensetting kedalaman dan kecepatan yang diperlukan sesuai tabel yang sudah dibuat CUT Z untuk Kedalaman,



**Gambar 4. 7 Settingan Kecepatan Mesin CNC**

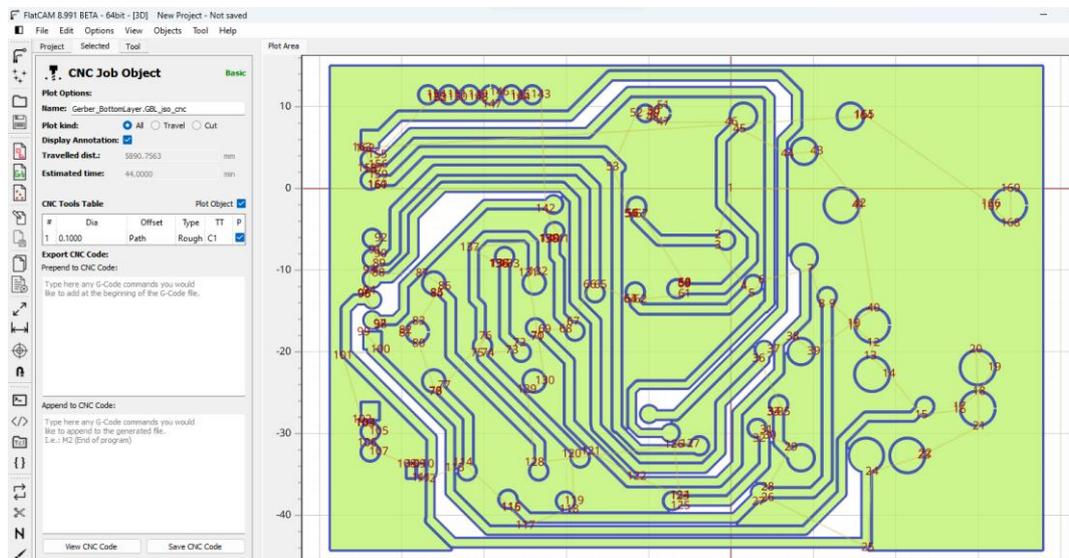
Travel Z untuk perpindahan antar line End Move Z seberapa cepat turun nya Axis Z, Feedrate X-Y seberapa cepat axis X dan Y berjalan,

Feedrate Z untuk seberapa cepat naik turunnya Axis Z, lalu untuk kecepatan Spindel Speed atau motor DC itu untuk berputar.

6. Langkah berikutnya Generate CNC, langkah ini sudah mendapatkan settingan untuk di Software Candle ke PCB nantinya.

7. Selanjutnya SAVE CNC Code, yang nantinya berupa kode-kode perintah untuk menjalankan mesin CNC secara otomatis. Untuk mengontrol mesin CNC itu sendiri memerlukan Software untuk mengontrol GRBL yaitu Candle, setelah instal Candle dan membuka software tersebut langkah selanjutnya impor ke Software Candle

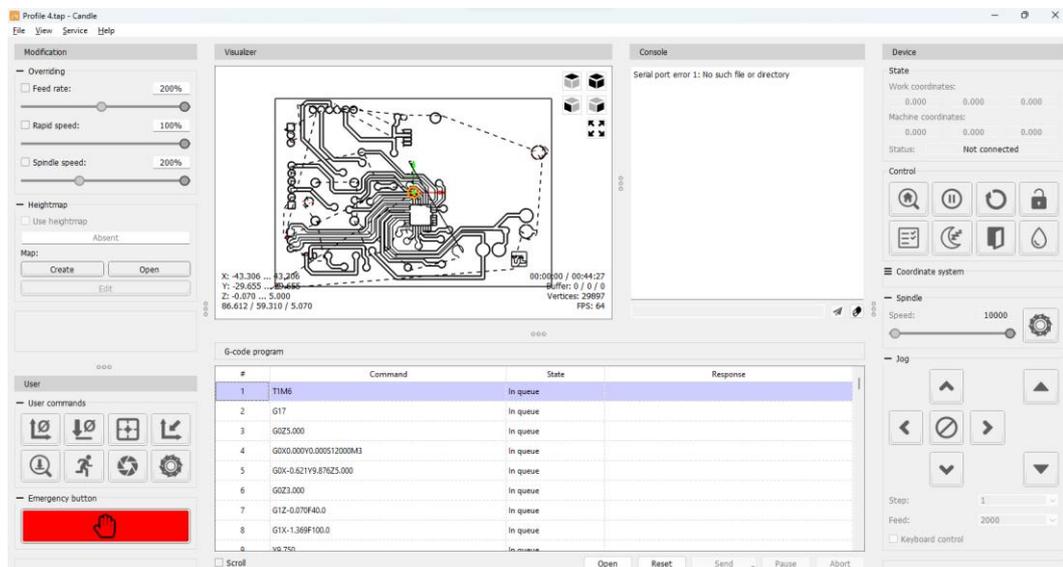
8. Selanjutnya klik send untuk memulai



Gambar 4. 8 Generate CNC

#### 4.4 Hasil Pengujian Pada PCB (*Printed Circuit Board*)

Untuk pengujian pada PCB (*Printed Circuit Board*) ialah untuk memastikan bahwasannya mata bor yang digunakan bisa dapat bekerja untuk mengukir PCB dengan nilai-nilai tertentu dan hasil pengukiran dapat dilihat pada tabel dan gambar sebagai berikut :



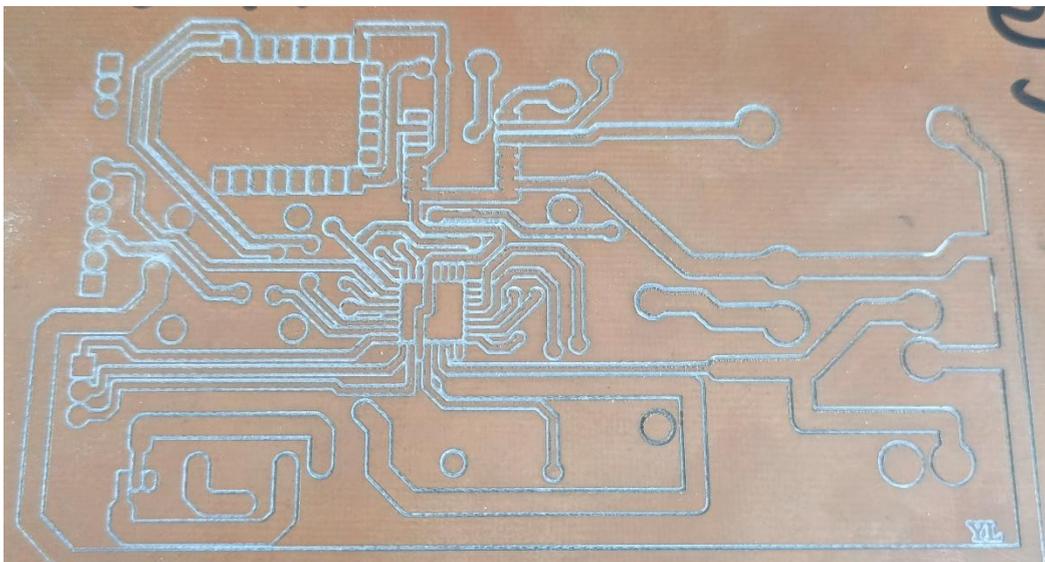
**Gambar 4. 9 Langkah terakhir Konfigurasi CNC**

#### 1. Bahan PCB Fiber Fr1

**Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Pada PCB Fr1**

| Ukuran   |        | Kecepatan Spindel | Kecepatan X-Y | Hasil drilling                        | Waktu (menit) |
|----------|--------|-------------------|---------------|---------------------------------------|---------------|
| Mata Bor | Cut Z  |                   |               |                                       |               |
| 0,1 mm   | 0,1 mm | 120.000 mm/sc     | 30.000 mm/sc  | Kedalaman sedang, hasil sedikit kasar | 34 Menit      |
| 0,1 mm   | 0,15   | 120.000 mm/sc     | 30.000 mm/sc  | Terlalu dalam, sehingga pengukirannya | 34 Menit      |

|        |      |               |              |                                                                                 |          |
|--------|------|---------------|--------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------|
|        |      |               |              | menjadi sangat kasar                                                            |          |
| 0,1 mm | 0,06 | 120.000 mm/sc | 30.000 mm/sc | Pas/ tidak terlalu dalam dan juga tidak terlalu kasar, Sangat Persisi dan halus | 34 Menit |



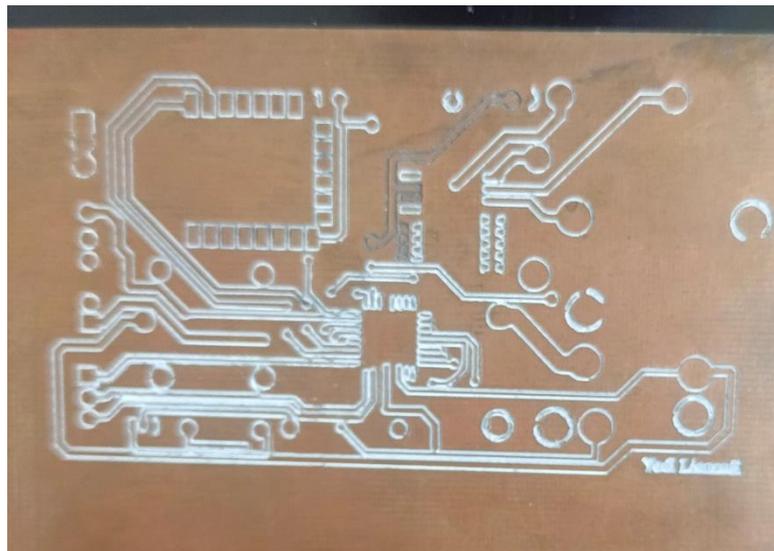
**Gambar 4. 10 hasil PCB Fiber Fr1**

## 2. Bahan PCB Fiber Fr4

**Tabel 4. 3 Bahan Pengujian PCB Fiber Fr4**

| Ukuran   |         | Kecepatan Spindel | Kecepatan X-Y | Hasil drilling                        | Waktu (menit) |
|----------|---------|-------------------|---------------|---------------------------------------|---------------|
| Mata Bor | Cut Z   |                   |               |                                       |               |
| 0,1 mm   | 0,1 mm  | 120.000 mm/sc     | 30.000 mm/sc  | Kedalaman sedang, hasil sedikit kasar | 34 Menit      |
| 0,1 mm   | 0,15 mm | 120.000 mm/sc     | 30.000 mm/sc  | Terlalu dalam, sehingga pengukirannya | 34 Menit      |

|        |         |               |              |                                                       |          |
|--------|---------|---------------|--------------|-------------------------------------------------------|----------|
|        |         |               |              | menjadi sangat kasar                                  |          |
| 0,1 mm | 0,06 mm | 120.000 mm/sc | 30.000 mm/sc | Pas/ tidak terlalu dalam dan juga tidak terlalu kasar | 34 Menit |



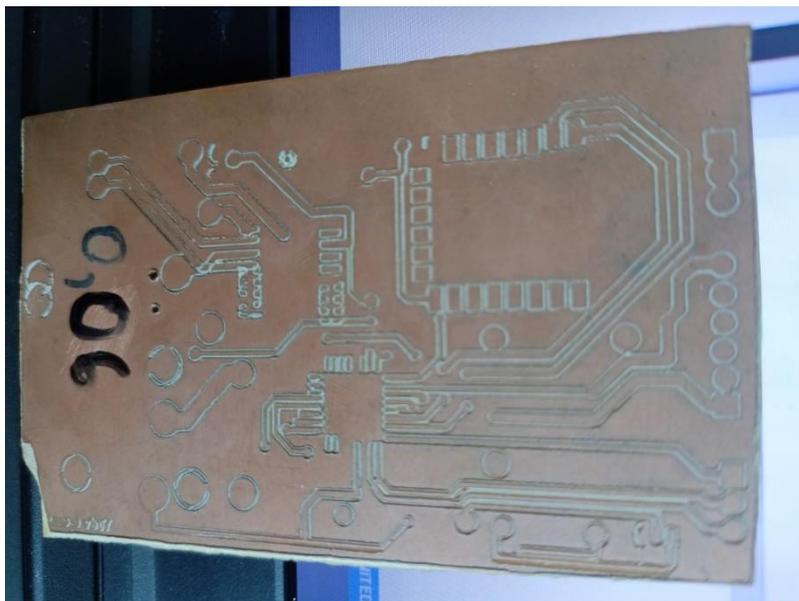
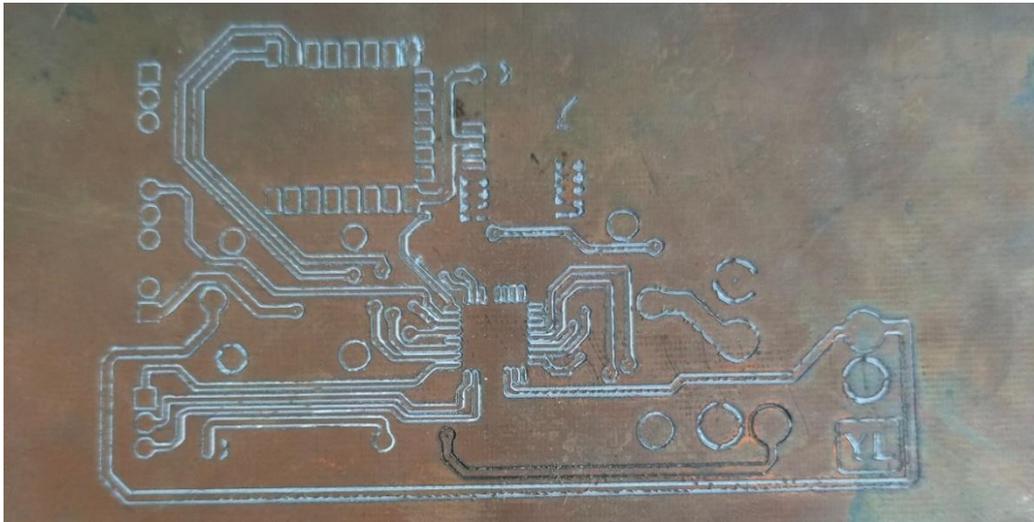
**Gambar 4. 11 Hasil PCB Fiber Fr4**

### 3. Bahan PCB Semi Fiber

**Tabel 4. 4 Bahan Pengujian PCB Semi Fiber**

| Ukuran   |         | Kecepatan Spindel | Kecepatan X-Y | Hasil drilling                                             | Waktu (menit) |
|----------|---------|-------------------|---------------|------------------------------------------------------------|---------------|
| Mata Bor | Cut Z   |                   |               |                                                            |               |
| 0,1 mm   | 0,1 mm  | 120.000 mm/sc     | 30.000 mm/sc  | Kedalaman sedang, hasil sedikit kasar                      | 34 Menit      |
| 0,1 mm   | 0,15 mm | 120.000 mm/sc     | 30.000 mm/sc  | Terlalu dalam, sehingga pengukirannya menjadi sangat kasar | 34 Menit      |

|        |         |               |              |                                                       |          |
|--------|---------|---------------|--------------|-------------------------------------------------------|----------|
| 0,1 mm | 0,06 mm | 120.000 mm/sc | 30.000 mm/sc | Pas/ tidak terlalu dalam dan juga tidak terlalu kasar | 34 Menit |
|--------|---------|---------------|--------------|-------------------------------------------------------|----------|



**Gambar 4. 12 Hasil Bahan PCB Semi Fiber**

Berdasarkan hasil pengujian secara keseluruhan, diketahui bahwa skema jalur elektronika yang dibuat dengan pengaturan tertentu memberikan hasil yang optimal pada jenis PCB FR1. Dengan menggunakan mata bor berukuran 0,1 mm, kedalaman pemotongan 0,06 mm, kecepatan spindle 120.000 mm/s, serta kecepatan gerak sumbu X-Y sebesar 30.000 mm/s, proses pengukiran dan pengeboran berjalan dengan sangat baik. Hasil yang diperoleh presisi dan halus pada setiap jalur, sehingga jenis PCB tersebut sangat direkomendasikan untuk digunakan dalam proses ini.

#### **4.5 Perbandingan Hasil Penelitian**

Untuk mengetahui keunggulan dari mesin CNC router yang dikembangkan dalam penelitian ini, dilakukan perbandingan terhadap hasil-hasil dari beberapa penelitian terdahulu serta metode konvensional (manual) yang masih digunakan dalam pembuatan jalur skema PCB. Perbandingan ini mencakup aspek sistem kontrol, metode kalibrasi, jenis bahan uji, akurasi hasil, waktu proses produksi, hingga efisiensi biaya dan kualitas jalur yang dihasilkan. Berdasarkan hasil pengujian, mesin CNC yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki beberapa keunggulan signifikan. Salah satunya adalah fitur kalibrasi otomatis menggunakan sensor Z-Probe, yang tidak dimiliki oleh penelitian sebelumnya maupun metode manual. Fitur ini berkontribusi besar dalam meningkatkan akurasi kedalaman pemotongan, khususnya pada jenis PCB dengan permukaan yang tidak sepenuhnya rata. Selain itu, mesin ini juga mendukung berbagai jenis bahan PCB seperti FR1, FR4, dan Semi-Fiber, sedangkan kebanyakan penelitian sebelumnya hanya menggunakan satu jenis bahan atau tidak menyebutkan secara rinci. Berikut adalah tabel perbandingan :

**Tabel 4. 5 Perbandingan**

| <b>Parameter</b>        | <b>Penelitian Ini (Raga, 2025)</b> | <b>Pramuji et al. (2020)</b> | <b>Metode Manual</b>    |
|-------------------------|------------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Jenis Mikrokontroler    | Arduino Uno R3                     | Arduino Mega                 | Tidak Ada (manual)      |
| Kalibrasi               | Otomatis (Z-Probe)                 | Manual                       | Tidak tersedia          |
| Bahan Uji               | FR1, FR4, Semi-Fiber               | Tidak disebutkan             | FR1                     |
| Akurasi Jalur           | $\pm 0.06$ mm                      | $\pm 0.08$ – $0.1$ mm        | Tidak ada data spesifik |
| Waktu Produksi Satu PCB | 15–20 menit                        | 20–30 menit                  | 40–60 menit             |
| Presisi Ukiran          | Rapi dan konsisten                 | Cukup baik                   | Sering tidak simetris   |
| Efisiensi Biaya         | Rendah (open source)               | Menengah                     | Rendah (boros bahan)    |

Dari segi waktu produksi, mesin ini mampu menyelesaikan satu jalur PCB dalam waktu rata-rata 12–15 menit untuk ukuran 10x5cm, jauh lebih cepat dibanding metode manual yang dapat memakan waktu 40–60 menit dan memiliki tingkat kesalahan visual yang lebih tinggi. Hasil jalur yang dihasilkan oleh mesin ini menunjukkan akurasi hingga  $\pm 0.06$  mm, dengan bentuk jalur yang rapi, simetris, dan konsisten. Hal ini membuktikan bahwa pengembangan mesin CNC router berbasis Arduino Uno dalam penelitian ini tidak hanya berhasil secara fungsional, tetapi juga memberikan nilai tambah dalam hal efisiensi dan presisi produksi jalur PCB. Dibandingkan penelitian Pramuji et al. (2020), mesin ini menunjukkan performa yang lebih stabil dalam aspek waktu dan akurasi, serta memiliki pendekatan desain yang lebih sederhana dan dapat direplikasi dengan biaya lebih terjangkau.