

BAB IV

PEMBUATAN ALAT

4.1. Pembuatan Hardware

Pada tahapan pembuatan hardware dibagi menjadi dua, yaitu pembuatan rangkaian mekanik dan pembuatan rangkaian elektrik.

4.1.1. Rancangan Mekanik

Pada rancangan mekanik, dilakukan proses pembuatan perangkat mekanik / rangka mesin CNC yang telah dirancang sebelumnya berdasarkan desain yang ditunjukkan pada *Gambar 3.4 Desain 3D Mesin CNC*. Pembuatan ini bertujuan untuk mendukung kinerja alat dan merealisasikan desain sesuai dengan kondisi fisik sebenarnya.

Alat dan bahan yang digunakan dalam proses pembuatan alat perangkat Mekanik / rangka mesin CNC dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4-1 Alat dan Bahan Pembuatan Hardware Mekanik

NO	ALAT	JUMLAH	NO	BAHAN	JUMLAH
1.	Obeng	1 Buah	1.	Motor Stepper Nema 17	3 Buah
2.	Gergaji	1 Buah	2.	Motor DC 775	1 Buah
3.	Meteran	1 Buah	3.	Limit Switch	3 Buah
4.	Spidol	1 Buah	4.	Pulley 2GT 20T	3 Buah
5.	Bor & Mata Bor 4mm	1 Buah	5.	Belt GT2 6mm	1,5 Meter
6.	Kunci L	1 Buah	6.	Lead Screw T8 Lead 8 Pitch 2mm 4Start 100mm	1 Buah
7.	Tang Potong	1 Buah	7.	T Nut T8 Lead 8 Pitch 2mm 4Start	2 Buah
8.	Tang Lancip	1 Buah	8.	Aluminium Profil 2020	1,5 meter

NO	ALAT	JUMLAH	NO	BAHAN	JUMLAH
9.	Hand Tap 5mm	1 Buah	9.	Coupling	2 Buah
10.	Ragum	1 Buah	10.	Besi As Shaft 5mm	1 Meter
11.	Waterpas s Indicator	1 Buah	11.	Roda V Wheel 625ZZ	12 Buah
12.	Amplas	Secukupnya	12.	Rangka Kaki (3D Filamen)	4 Buah
			13.	Rangka Tiang Samping Kanan & Kiri (3D Filamen)	1 Buah
			14.	Rangka Atas (3D Filamen)	1 Buah
			15.	Rangka Spindel (3D Filamen)	1 Buah
			16.	Rangka Timing Belt (3D Filamen)	4 Buah
			17.	Rangka Latar (3D Filamen)	1 Buah
			18.	Bearing 608ZZ	1 Buah
			19.	Bearing 625ZZ	1 Buah
			20.	Mur, Ring dan Baut	Secukupn ya

Pembuatan hardware mekanik sesuai rancangan *Gambar 3.4 Desain 3D Mesin CNC* dilakukan sebagai berikut :

1. Pemotongan profil aluminium 2020 menggunakan gergaji sesuai dengan kebutuhan rangka mesin CNC, dengan rincian ukuran: $1 \times 310,9 \text{ mm}$, $2 \times 300 \text{ mm}$, dan $2 \times 270 \text{ mm}$.



Gambar 4.1 Pemotongan Aluminium Profil 2020

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

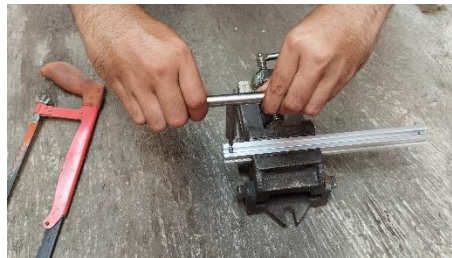
2. Kemudian pemotongan besi assental berdiameter 5 mm yang berfungsi sebagai transmisi daya putar motor stepper sekaligus penopang rangka sumbu Y dan Z, dengan rincian ukuran: $1 \times 302 \text{ mm}$, $2 \times 322,9 \text{ mm}$, dan $2 \times 127,5 \text{ mm}$.



Gambar 4. 2 Pemotongan Besi Assental 5mm

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

3. Pelubangan dan pembuatan ulir pada potongan aluminium profil 2020 dilakukan menggunakan hand tap untuk menyiapkan tempat perekat baut.



Gambar 4. 3 Pembuatan ulir pada profil aluminium 2020

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

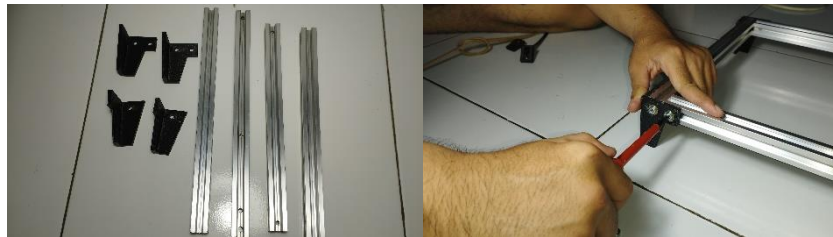
4. Amplas potongan besi assental dan aluminium profil 2020 untuk menghilangkan kotoran serta sisa-sisa serpihan yang menempel di permukaannya.



Gambar 4. 4 Pengamplasan Besi Assental 5mm

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

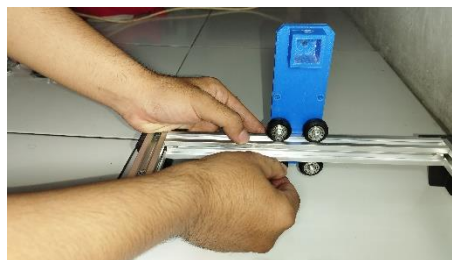
5. Potongan aluminium profil 2020 dengan ukuran 2×300 mm, dan 2×270 mm dipasangkan dengan rangka kaki (hasil cetak 3D/filamen) menggunakan baut sebagai pengikatnya.



Gambar 4. 5 Pemasangan Rangka Kaki Mesin CNC

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

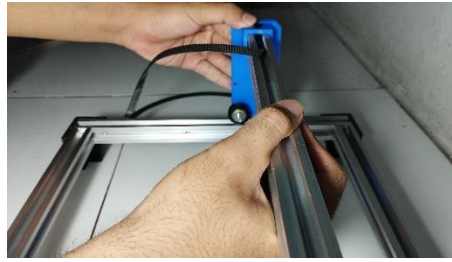
6. Rangka tiang samping kanan dan kiri (hasil cetak 3D/filamen) serta roda V-wheel dipasang pada aluminium profil berukuran 300 mm.



Gambar 4. 6 Pemasangan Rangka Tiang Samping Kanan dan Kiri serta Roda V-Wheel

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

7. Aluminium profil 2020 berukuran 302 mm dan Timing Belt GT2 lebar 6mm untuk sumbu X dipasangkan pada salah satu rangka tiang samping (kanan atau kiri) hasil cetak 3D/filamen sebagai penyangga rangka atas.



Gambar 4. 7 Pemasangan Aluminium Profil 2020 dan Timing Belt GT2 Lebar 6mm untuk Rangka Atas
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

8. Roda V-wheel dipasang pada rangka atas (hasil cetak 3D/filamen) menggunakan baut dan mur sebagai pengikat.



Gambar 4. 8 Pemasangan Roda V-Wheel pada Rangka Atas
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

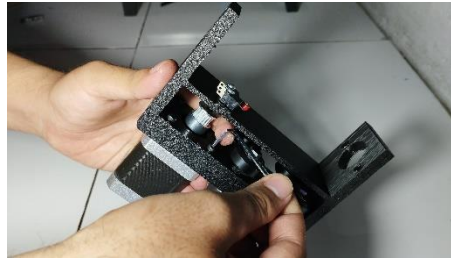
9. Motor stepper NEMA 17 untuk sumbu X dipasang pada pulley 2GT 20T.



Gambar 4. 9 Pemasangan Pulley 2GT 20T pada Motor Stepper Nema 17 sumbu X

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

10. Limit switch sumbu Z dan motor stepper NEMA 17 sumbu X yang telah dipasangi pulley 2GT 20T dipasangkan pada rangka atas (hasil cetak 3D/filamen).



Gambar 4. 10 Pemasangan Limit Switch sumbu Z dan Motor Stepper Nema 17 sumbu X pada Rangka Atas
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

11. Bearing 608ZZ dengan diameter dalam 8 mm dipasangkan pada rangka atas (hasil cetak 3D/filamen) sebagai penyangga idler pulley sumbu Z.



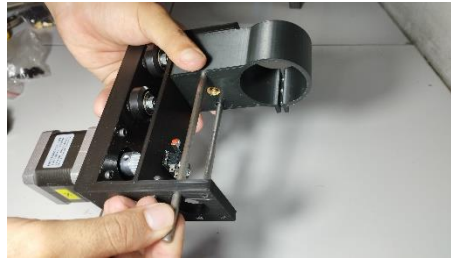
Gambar 4. 11 Pemasangan Bearing 608ZZ pada Rangka Atas
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

12. T-nut T8 lead 8 pitch 2 mm 4 start dipasangkan pada lubang rangka spindle (hasil cetak 3D/filamen) dengan diameter $\pm 9,7$ mm.



Gambar 4. 12 Pemasangan T-nut T8 lead 8 pitch 2 mm 4 start pada Rangka Spindle
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

13. Rangka spindle (hasil cetak 3D/filamen) yang telah dipasangi T-nut T8 lead 8 pitch 2 mm 4 start serta besi assental berukuran $2 \times 127,5$ mm dengan diameter 5 mm dipasangkan pada rangka atas (hasil cetak 3D/filamen).



*Gambar 4. 13 Pemasangan Rangka Spindle dan Besi Assental pada Rangka Atas
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)*

14. Motor stepper NEMA 17 untuk sumbu Z dipasangkan pada rangka atas (hasil cetak 3D/filamen), kemudian dihubungkan ke lead screw T8 lead 8 pitch 2 mm 4 start sepanjang 100 mm melalui coupling. Lead screw tersebut juga terhubung ke rangka spindle (hasil cetak 3D/filamen).



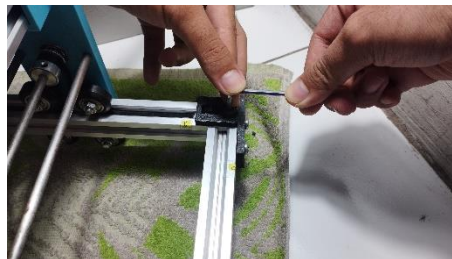
*Gambar 4. 14 Pemasangan Motor Stepper NEMA 17 sumbu Z, Coupling, dan
Lead Screw T8 pada Rangka Spindle dan Rangka Atas
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)*

15. Rangka atas (hasil cetak 3D/filamen) yang telah dipasangi komponen sumbu X dan Z dipasangkan pada aluminium profil 2020 berukuran 302 mm. Timing belt GT2 lebar 6 mm untuk sumbu X dikencangkan, setelah sebelumnya terpasang pada salah satu sisi. Selanjutnya, dua batang besi assental berdiameter 5 mm dengan panjang masing-masing 322,9 mm dipasangkan melintang di antara rangka tiang samping kanan dan kiri (hasil cetak 3D/filamen). Motor stepper NEMA 17 untuk sumbu Y juga dipasangkan pada rangka, disertai pulley 2GT 20T yang terhubung ke batang assental 5 mm berukuran 302 mm melalui coupling. Pada sisi seberangnya, dipasangkan pulley 2GT 20T tambahan yang berfungsi sebagai penyeimbang pergerakan poros sumbu Y.



*Gambar 4. 15 Pemasangan dan Perakitan Seluruh Komponen Sumbu X, Y, dan Z
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)*

16. Pasang dan kencangkan dua timing belt GT2 pada sumbu Y, masing-masing pada sisi motor dan sisi seberangnya. Belt dipasang pada rangka penahan timing belt (hasil cetak 3D/filamen) yang terpasang pada aluminium profil 2020.



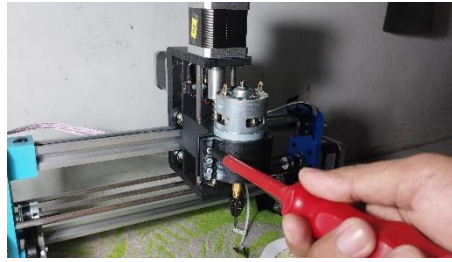
*Gambar 4. 16 Pemasangan Timing Belt GT 2 pada sumbu Y
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)*

17. Pasang komponen limit switch pada masing-masing sumbu X, Y, dan Z.



*Gambar 4. 17 Pemasangan Limit Switch
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)*

18. Pasang motor DC 775 pada rangka spindle (hasil cetak 3D/filamen) sebagai motor pemutar spindle.



Gambar 4. 18 Pemasangan Motor Spindle

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

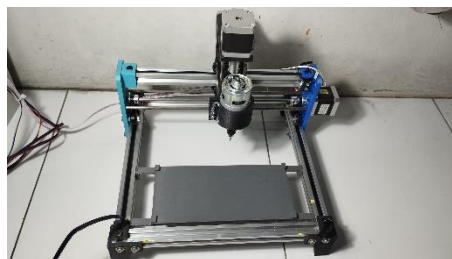
19. Pasang rangka latar (hasil cetak 3D/filamen) pada rangka aluminium profil mesin CNC.



Gambar 4. 19 Pemasangan Latar / Bed (Meja Kerja)

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

20. Perakitan rangka atau hardware mekanik mesin CNC telah selesai dilakukan.



Gambar 4. 20 Hasil Perakitan Hardware Mekanik

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.1.2. Rancangan Elektrik

Pada rancangan mekanik, dilakukan proses pembuatan perangkat elektrik mesin CNC yang telah dirancang sebelumnya berdasarkan desain yang ditunjukkan pada *Gambar 3.2 Illustrative Wiring Diagram* dan *Gambar 3.3 Ilustrasi Pemasangan Komponen pada Panel (Wiring Diagram)*. Pembuatan ini bertujuan

untuk mendukung kinerja alat dan merealisasikan desain sesuai dengan kondisi fisik sebenarnya.

Alat dan bahan yang digunakan dalam proses pembuatan alat perangkat elektrik mesin CNC dapat dilihat pada tabel berikut :

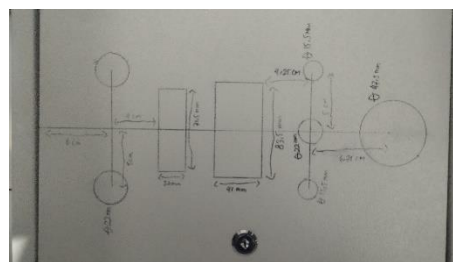
Tabel 4- 2 Alat dan Bahan Pembuatan Hardware Elektrik

NO	ALAT	JUMLAH	NO	BAHAN	JUMLAH
1.	Obeng	1 Buah	1.	Box Panel 30 cm × 40 cm × 18 cm	1 Buah
2.	Penggaris	1 Buah	2.	Arduino Uno & Kabel USB	1 Buah
3.	Spidol	1 Buah	3.	CNC Shield	1 Buah
4.	Mesin Bor Set	1 Buah	4.	Driver TMC2209	3 Buah
5.	Gerinda	1 Buah	5.	Arduino Nano	1 Buah
6.	Kikir	1 Buah	6.	LCD 16 × 2 & I2C	1 Buah
7.	Tang Potong	1 Buah	7.	Steker	1 Buah
8.	Tang Lancip	1 Buah	8.	Power Supply 12V	1 Buah
9.	Tang Press Skun	1 Buah	9.	Modul LM2596 Stepdown	1 Buah
10.	Cutter	1 Buah	10.	MCB 4A	1 Buah
11.	Solder	1 Buah	11.	Relay Optocoupler 5V 1 Channel	1 Buah
12.	Multimeter	1 Buah	12.	Lampu Panel	2 Buah
13.	Double Tape Foam	Secukupnya	13.	Mini Voltmeter DC	1 Buah
14.	Timah Solder	Secukupnya	14.	Resistor 4,7K Ω	8 Buah
			15.	Dioda 1N5408	1 Buah
			16.	Pilot Lamp	2 Buah
			17.	Watt Meter DC	1 Buah
			18.	Push Button NO	2 Buah

NO	ALAT	JUMLAH	NO	BAHAN	JUMLAH
			19.	Emergency Push Button	1 Buah
			20.	Cooling Fan 12VDC	1 Buah
			21.	Terminal Konektor	1 Buah
			22.	Capit Buaya	2 Buah
			23.	LED 5mm & Resistor 220 Ω	1 Buah
			24.	Kabel Duct 25 × 25 mm	23 Cm
			25.	Konektor JST	Secukupnya
			26.	Kabel Jumper	Secukupnya
			27.	Kabel NYAF	Secukupnya
			28.	Kabel NYAM	Secukupnya
			29.	Kabel Ties & Konektor Skun Kabel	Secukupnya
			30.	Isolasi Bakar Kabel	Secukupnya
			31.	Mur, Ring dan Baut	Secukupnya

Pembuatan hardware elektrik sesuai rancangan *Gambar 3.2 Illustrative Wiring Diagram* dan *Gambar 3.3 Ilustrasi Pemasangan Komponen pada Panel (Wiring Diagram)* dilakukan sebagai berikut :

1. Buat layout dan lakukan pengukuran posisi lubang pada panel yang akan dibor.



Gambar 4. 21 Layout dan pengukuran posisi lubang pada panel
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

2. Lakukan pengeboran pada box panel sesuai dengan hasil pengukuran dan desain yang telah dibuat.



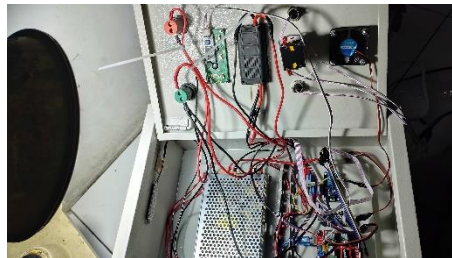
*Gambar 4. 22 Pengeboran pada box panel
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)*

3. Pasang komponen-komponen pada box panel sesuai dengan layout yang telah ditentukan.



*Gambar 4. 23 Pemasangan Komponen pada Box Panel
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)*

4. Pasang seluruh kabel pada masing-masing komponen sesuai dengan gambar ilustratif wiring diagram.



*Gambar 4. 24 Pemasangan Kabel pada Setiap Komponen
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)*

5. Atur Tegangan Referensi (V_{ref}) Driver Motor Stepper
Pengukuran tegangan referensi (V_{ref}) pada driver motor stepper TMC2209 dilakukan menggunakan multimeter digital. Langkah-langkah pengukuran

mengacu pada penjelasan di Subbab 2.2.4 *CNC Shield Arduino Uno & Driver TMC2209* pada bagian *Perhitungan Tegangan Referensi (Vref)* :

- Hubungkan driver ke catu daya (power supply) 12V DC dan pastikan sistem dalam keadaan hidup (powered ON).
- Atur multimeter ke mode voltmeter DC (VDC).
- Sambungkan probe hitam (negatif) multimeter ke ground (GND) dari sistem (misalnya pin GND Arduino atau power supply).
- Sambungkan probe merah (positif) ke pin pengukuran Vref pada modul driver TMC2209 (Trimpot Driver).
- Baca hasil pengukuran pada layar multimeter



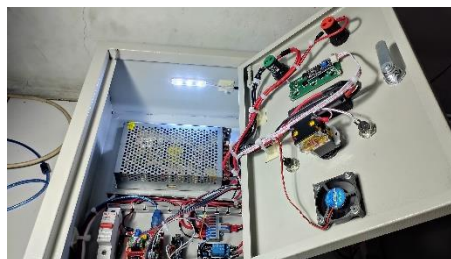
*Gambar 4. 25 Pengukuran Tegangan Referensi (VRef) Driver TMC2209
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)*

Jika nilai Vref sudah diketahui, maka arus RMS per fasa yang dialirkan ke motor stepper dapat dihitung dengan rumus :

$$I_{RMS} = \frac{V_{ref}}{0,71 \times 2} = \frac{1,19 \text{ VDC}}{1,42} = 0,83 \text{ A per fasa}$$

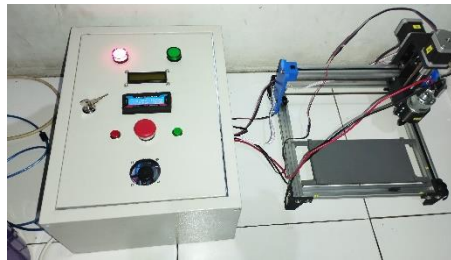
Dengan arus 0,83 A per fasa, driver bekerja dalam batas aman untuk motor NEMA 17 17HS8401 yang memiliki spesifikasi arus max sekitar 1,7 A.

6. Rapikan kabel-kabel komponen



*Gambar 4. 26 Perapian Kabel-Kabel komponen
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)*

7. Perakitan rangka atau hardware elektrik mesin CNC telah selesai dilakukan.



*Gambar 4. 27 Hasil Perakitan Hardware Elektrik
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)*

4.2. Pembuatan Software

Pembuatan perangkat lunak pada proyek mesin CNC ini bertujuan untuk mengatur alur kerja mesin mulai dari proses penerjemahan desain PCB hingga eksekusi gerakan motor oleh Arduino Uno. Penggunaan firmware GRBL pada mikrokontroler Arduino Uno menjadi inti sistem kontrol gerakan mesin, yang diunggah melalui Arduino IDE. Untuk merancang jalur dan layout PCB, digunakan perangkat lunak Eagle sebagai alat desain skematik dan board. File hasil desain tersebut kemudian diproses dengan FlatCAM untuk menghasilkan G-code sesuai kebutuhan mesin CNC. Selanjutnya, G-code dijalankan menggunakan *Universal G-code Sender (UGS)* sebagai antarmuka pengirim perintah ke mesin CNC.

Tanpa peran sistem perangkat lunak ini, keseluruhan komponen hanya akan terhubung secara fisik tanpa mampu menjalankan fungsi kerja yang terprogram. Oleh karena itu, keakuratan dan keberhasilan dalam proses pembuatan perangkat lunak akan sangat menentukan performa dan keandalan sistem mesin CNC secara keseluruhan.

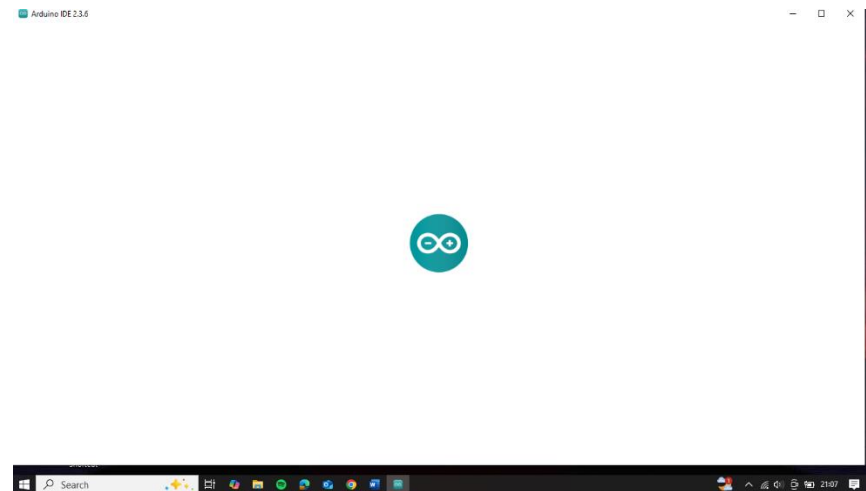
4.2.1. Proses GRBL Firmware

GRBL merupakan firmware open-source berbasis bahasa *C* yang dirancang khusus untuk mengontrol mesin CNC melalui mikrokontroler Arduino. Firmware ini bersifat gratis dan dapat diunduh kapan pun melalui repositori resminya, serta mendukung interpretasi perintah G-code secara langsung untuk menggerakkan motor stepper. Pada proyek ini, GRBL diunggah ke Arduino Uno sebagai otak

pengendali gerakan sumbu mesin CNC. Berikut Langkah-langkah penginstalan GRBL :

1. Buka Arduino IDE

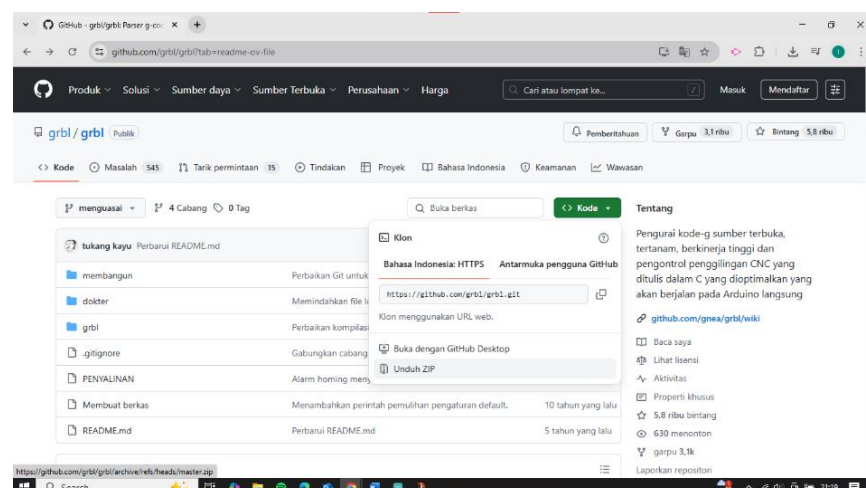
Untuk menginstal atau mengunggah firmware GRBL ke Arduino Uno, diperlukan aplikasi *Arduino IDE* sebagai alat pemrograman utama.



Gambar 4. 28 Proses Membuka Aplikasi Arduino IDE
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

2. Unduh GRBL

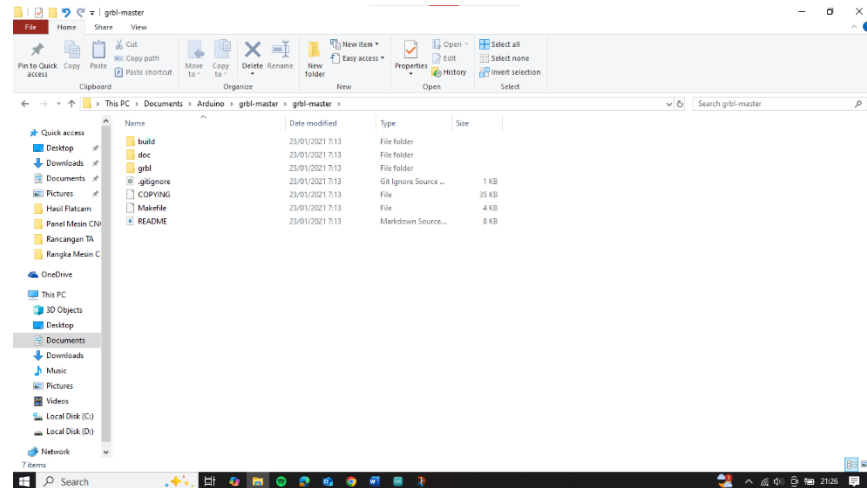
Unduh firmware GRBL dari situs resmi <https://github.com/gnea/grbl> dalam format *file .zip*.



Gambar 4. 29 Proses Unduh Firmware GRBL
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

3. Ekstrak GRBL

Ekstrak file *grbl-master.zip* yang telah diunduh.

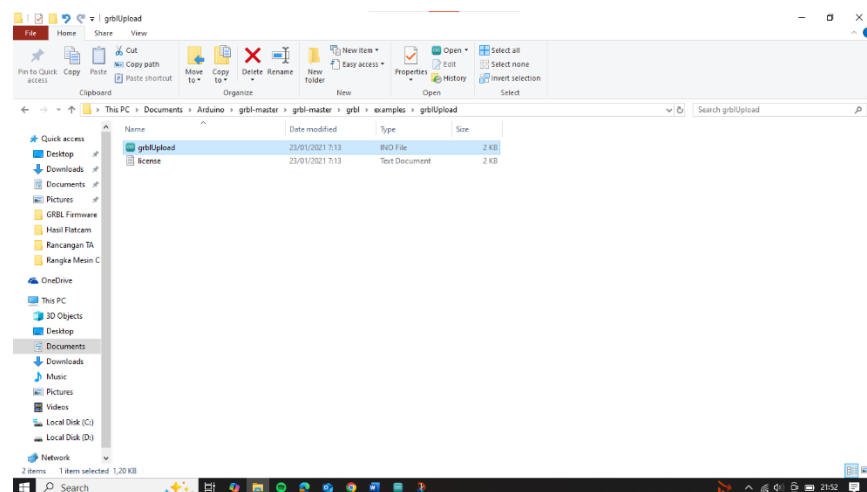


Gambar 4. 30 Proses Ekstrak File GRBL

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4. Buka File grblUpload.ino

Setelah mengekstrak file *grbl-master.zip*, buka folder *grbl*, kemudian masuk ke direktori *examples > grblUpload*, lalu pilih dan buka file *grblUpload.ino* melalui Arduino IDE.

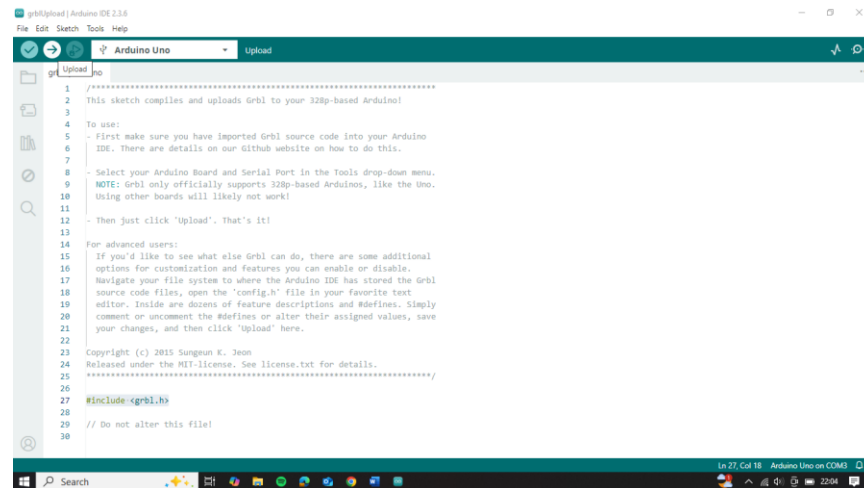


Gambar 4. 31 Pemilihan File grblUpload.ino

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

5. Upload Library GRBL

Setelah file *grblUpload.ino* dibuka, unggah firmware GRBL ke Arduino Uno melalui kabel USB. Pastikan terlebih dahulu memilih jenis board "*Arduino Uno*" dan *port* komunikasi yang sesuai melalui menu *Tools > Board* dan *Tools > Port* pada *Arduino IDE*.



Gambar 4. 32 Proses Unggah Library GRBL

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

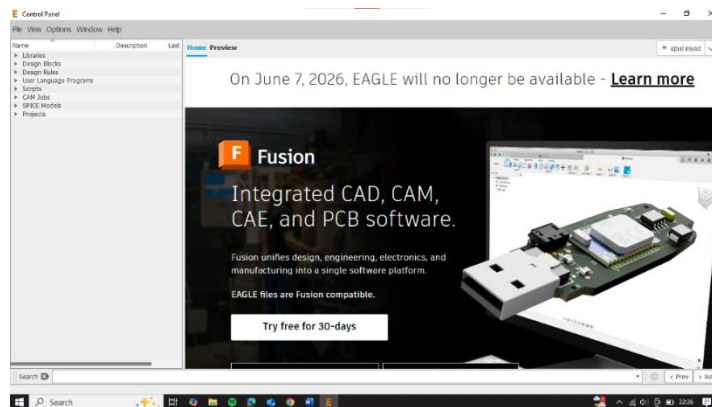
6. Selesai Upload GRBL

Proses unggah firmware GRBL ke Arduino Uno telah berhasil. Arduino kini siap digunakan sebagai pengendali utama sistem mesin CNC untuk menjalankan seluruh rangkaian gerakan berdasarkan perintah G-code.

4.2.2. Proses Software Eagle

Proses perancangan awal jalur rangkaian PCB pada proyek mesin CNC ini dilakukan menggunakan perangkat lunak Autodesk Eagle. Eagle merupakan software desain elektronik berbasis CAD (*Computer Aided Design*) yang digunakan untuk membuat skematik rangkaian serta layout papan PCB secara digital. Berikut langkah-langkah pembuatan rangkaian pada Autodesk Eagle :

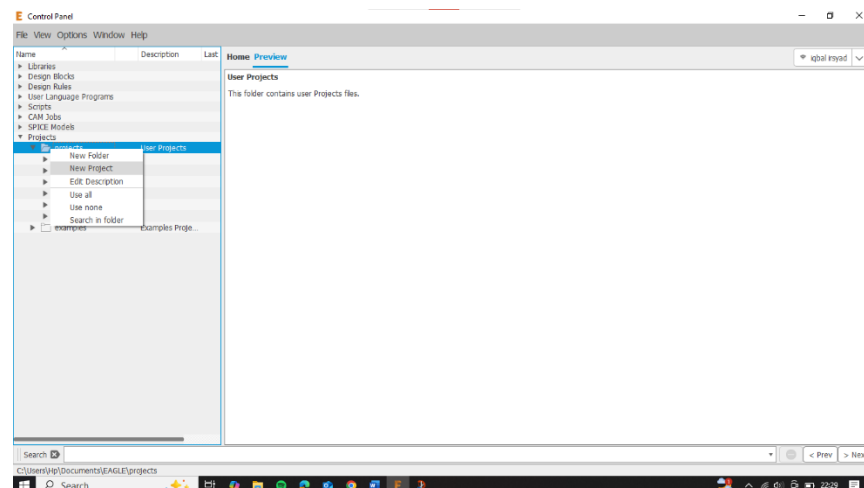
1. Buka Autodesk Eagle



*Gambar 4. 33 Proses Membuka Aplikasi Autodesk Eagle
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)*

2. Pilih Menu Projects

Pada tampilan awal Eagle, pilih menu *Projects*, lalu masuk ke folder *Projects*. Klik kanan pada area tersebut, kemudian pilih *New Project* untuk membuat proyek baru.



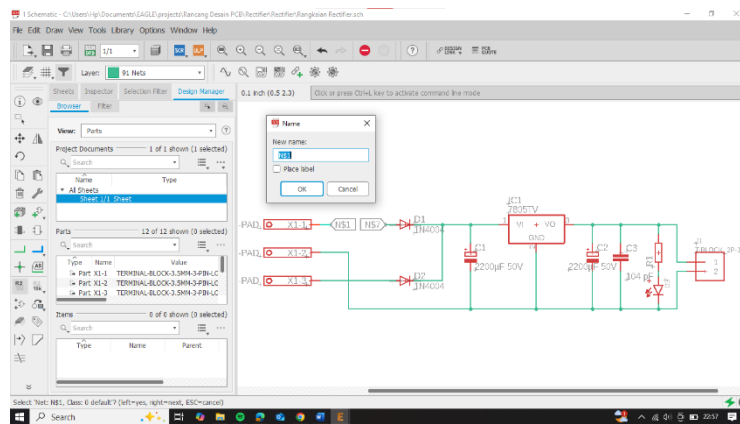
*Gambar 4. 34 Pemilihan Menu Projects
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)*

3. Pilih Menu Schematic

Setelah membuat proyek baru, beri nama sesuai keinginan. Selanjutnya, klik kanan pada nama proyek tersebut, pilih *New*, lalu pilih *Schematic* untuk mulai membuat diagram skematik rangkaian.

5. Koneksikan Komponen

Setelah semua komponen yang dibutuhkan ditambahkan, lakukan pengaturan tata letak (*layout*) skematik dan hubungkan antar komponen menggunakan fitur *Net*. Alternatifnya, dapat menggunakan fitur *Label* dan menghubungkannya berdasarkan penamaan (*Name*) yang sama untuk menyederhanakan jalur koneksi.

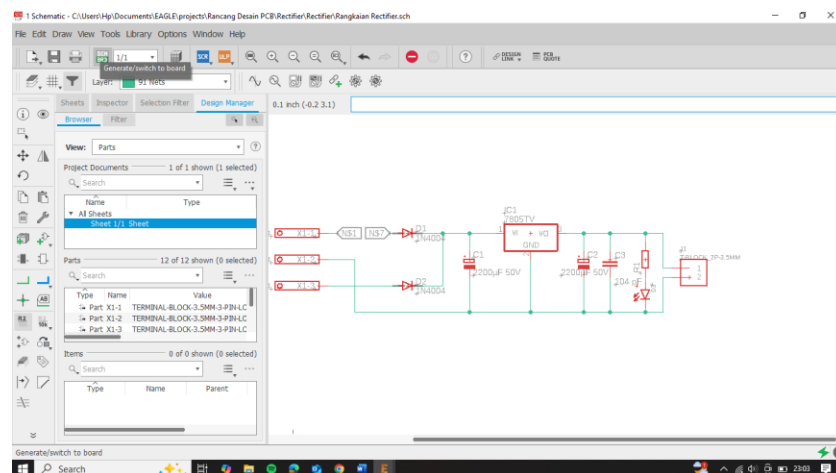


Gambar 4. 37 Pengkoneksian Komponen-komponen

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

6. Generate ke Board

Setelah rangkaian skematik selesai, lakukan proses konversi ke tampilan *Board Layout* dengan memilih menu *Generate/Switch to Board* pada toolbar.



Gambar 4. 38 Proses Konversi ke tampilan Board

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

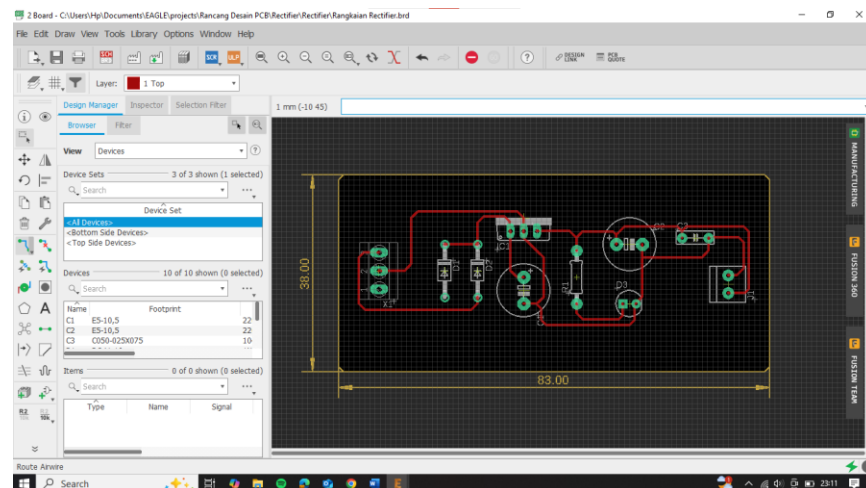
7. Layout Board PCB

Setelah masuk ke tampilan *Board Layout*, susun komponen-komponen secara rapi di area board agar jalur tidak saling bertabrakan. Ubah satuan *grid* ke milimeter (mm) agar lebih presisi dalam penempatan.

Selanjutnya, sambungkan garis *Airwire* menggunakan fitur *Route Airwire*, dan atur ketebalan jalur sesuai kebutuhan melalui parameter *Width*. Proses routing dapat dilakukan pada layer atas (*Top*) atau layer bawah (*Bottom*) melalui pengaturan *Layer Settings*.

Dalam proyek mesin CNC PCB ini, digunakan desain single layer, sehingga seluruh jalur dirancang hanya pada satu layer. Jika menggunakan desain dual layer, koneksi antar jalur dapat dibuat menggunakan *via*.

Untuk menentukan dimensi fisik papan PCB, gunakan *tool Line Dimension* pada tampilan *Board Layout*.

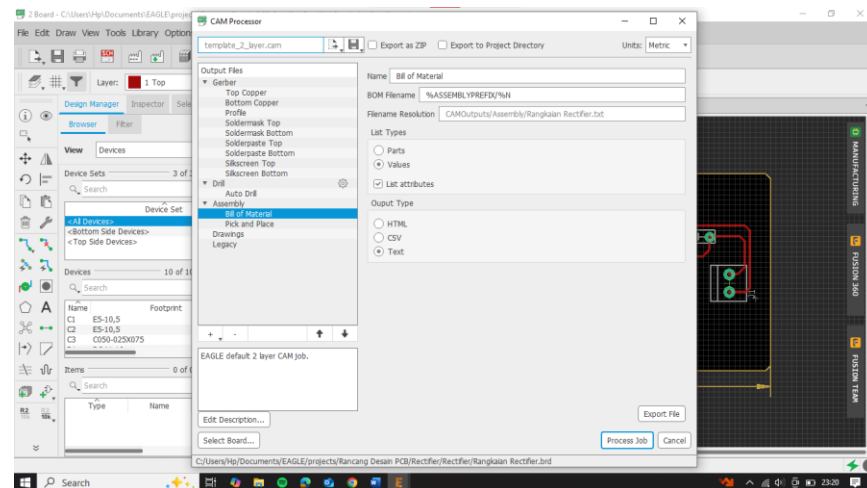


Gambar 4. 39 Pembuatan Layout Board PCB

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

8. Konversi ke Gerber

Setelah proses layout papan PCB selesai, lakukan konversi desain menjadi file Gerber untuk keperluan proses produksi. Caranya yaitu dengan membuka menu *CAM Processor*, lalu pilih pengaturan yang sesuai dan klik tombol *Process Job* untuk menghasilkan *file output Gerber*.



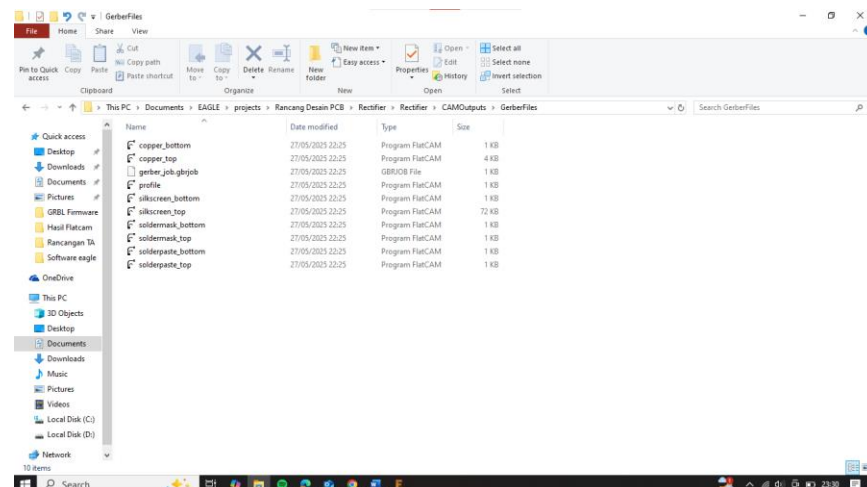
Gambar 4. 40 Proses Konversi ke File Gerber

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

9. Hasil File Gerber

Setelah proses konversi melalui fitur *CAM Processor*, file Gerber dapat ditemukan di lokasi penyimpanan proyek Eagle. Biasanya, hasil output disimpan dalam folder *CAMOutputs* atau *GerberFiles*.

File-file Gerber yang dihasilkan tersebut selanjutnya siap digunakan untuk proses konversi menjadi G-code pada tahap berikutnya menggunakan software lain, seperti FlatCAM.



Gambar 4. 41 Tampilan Hasil File Gerber

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

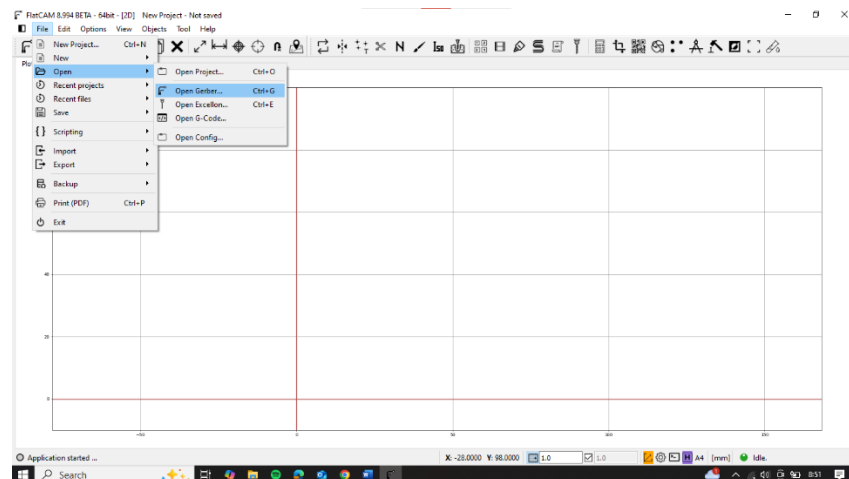
4.2.3. Proses Software Flatcam

FlatCAM merupakan perangkat lunak open-source yang digunakan untuk mengubah file *Gerber* dan *Drill* hasil dari software desain PCB (seperti Eagle) menjadi G-code, yaitu format perintah yang dapat dibaca oleh mesin CNC.

Tanpa konversi melalui FlatCAM, desain jalur dan titik pengeboran pada PCB tidak dapat dijalankan oleh sistem kontrol CNC. Oleh karena itu, proses ini merupakan tahapan penting sebelum file dapat dieksekusi oleh firmware GRBL pada Arduino. Berikut ini adalah langkah-langkah penggunaan software FlatCAM untuk mengonversi file Gerber menjadi G-code :

1. Buka Flatcam

Buka Flatcam kemudian pilih menu *File > Open > Open Gerber*.

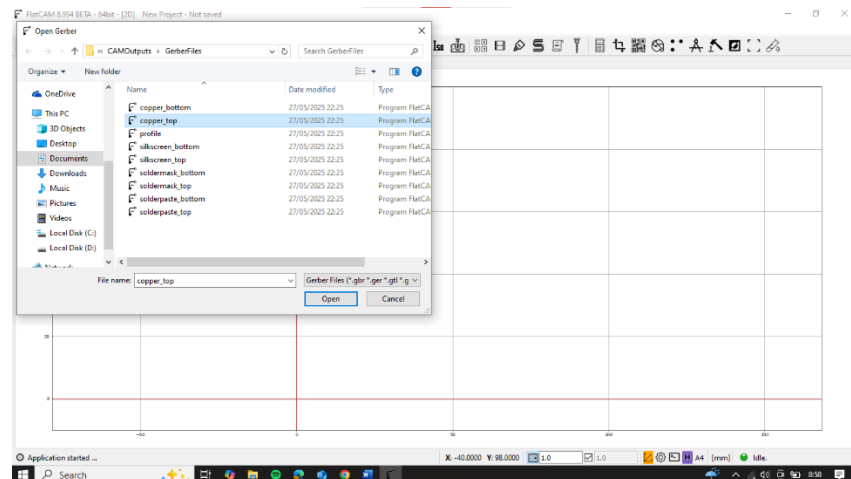


Gambar 4. 42 Proses Open File Gerber

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

2. Masukkan File Gerber

Setelah membuka aplikasi FlatCAM, klik menu *"Open Gerber"*, kemudian pilih file Gerber hasil dari proses ekspor di software Eagle. File Gerber biasanya berada dalam folder *CAMOutputs* atau *GerberFiles*, tergantung pada lokasi penyimpanan proyek Eagle.

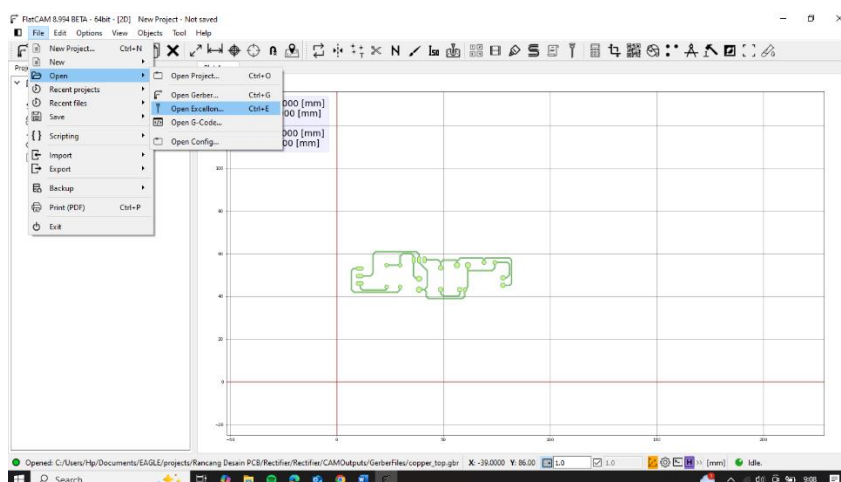


Gambar 4. 43 Proses Input File gerber
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Pilih file Gerber yang mewakili layer jalur PCB yang telah dibuat sebelumnya, seperti *copper_bottom* untuk layer bawah atau *copper_top* untuk layer atas, sesuai dengan jenis desain PCB yang digunakan.

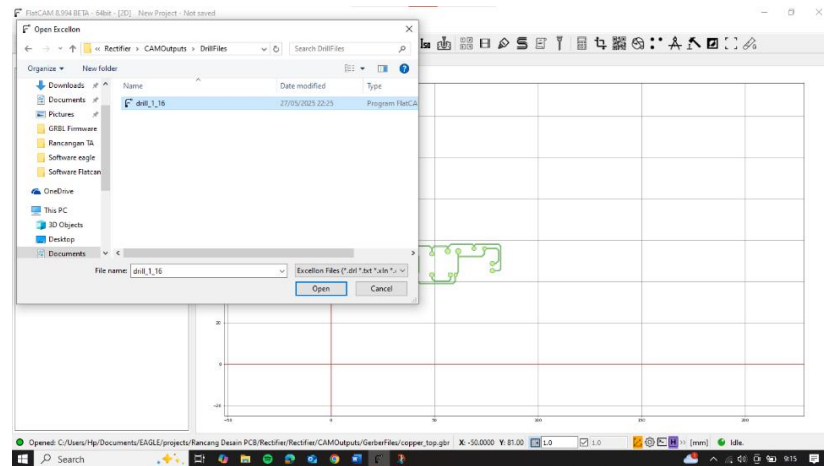
3. Masukkan File Excellon

Setelah file *Gerber* dimasukkan untuk memuat jalur layout PCB, langkah selanjutnya adalah membuka file *Excellon* dengan memilih menu "*Open Excellon*". File ini berfungsi untuk memuat data lubang (*drill*) pada papan PCB seperti lubang kaki komponen.



Gambar 4. 44 Proses Open File Excellon
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

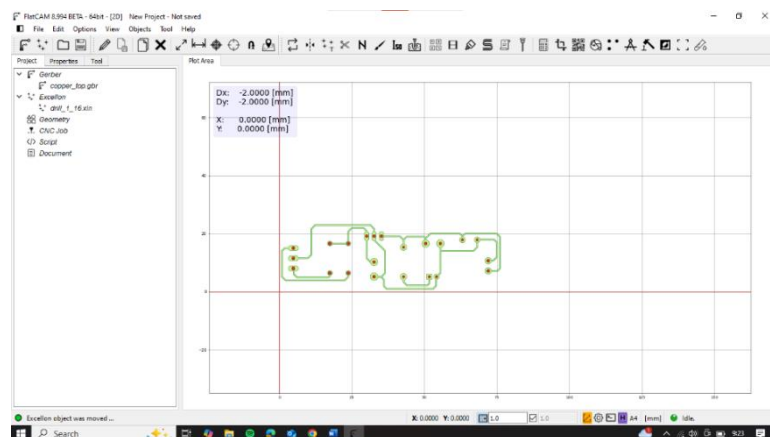
Setelah membuka menu *Open Excellon*, pilih file *drill* (biasanya berekstensi .drl) yang terdapat di dalam folder *CAMOutputs* atau *DrillFiles* hasil ekspor dari Eagle.



Gambar 4. 45 Proses Input File drill
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4. Rapikan Layout File

Setelah file *Gerber* dan *Excellon* berhasil dimuat, pastikan posisi keduanya berada dekat dengan titik koordinat ($X0$, $Y0$). Jika posisi belum rapi atau terlalu jauh dari *origin*, geserlah objek ke dekat koordinat awal (*origin*) agar proses pemrosesan toolpath dan pemotongan CNC berjalan lebih presisi dan efisien.

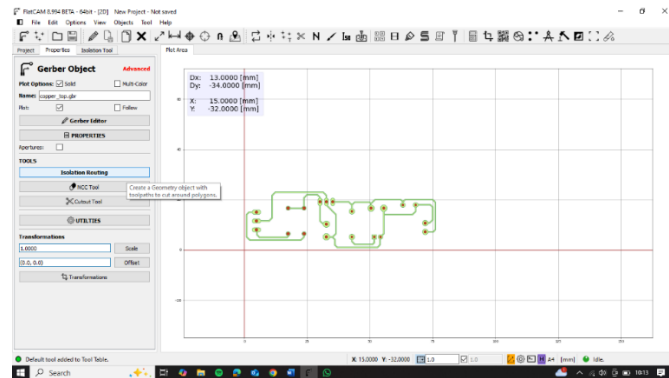


Gambar 4. 46 Penempatan File Gerber dan Excellon di Dekat Titik Koordinat $X0$
 $Y0$

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

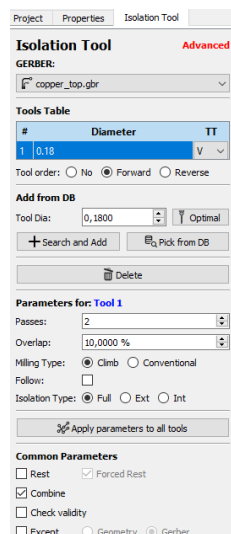
5. Pengaturan File Gerber

Klik dua kali pada file Gerber yang telah dimasukkan, misalnya *copper_top.gbr*, untuk membuka pengaturan detail file tersebut. Selanjutnya, pilih menu *Isolation Routing* guna memulai proses pembuatan jalur isolasi pada layout PCB.



Gambar 4. 47 Pemilihan Menu Isolation Routing GRBL Object
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Setelah memilih file Gerber seperti *copper_top.gbr*, menu *Isolation Tool* akan muncul untuk menentukan parameter pembuatan jalur isolasi (*isolation routing*). Berikut penjelasan tiap bagian :



Gambar 4. 48 Menu Isolation Routing
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

a. Tools Table

- Diameter : Diisi dengan ukuran alat milling atau V-bit yang digunakan.
Contoh : 0.7 mm menunjukkan diameter alat potong
- TT (Tool Type) : Biasanya bisa diberi label atau jenis alat, misal C1 sebagai identifikasi.

Tabel 4- 3 Jenis-jenis Tool Type di Flatcam

Kode	Makna Umum	Penjelasan
C1	Cutter 1 (Endmill kecil)	Biasanya untuk milling track tipis, seperti V-bit atau Endmill 0.1 – 0.4 mm
C2	Cutter 2 (Endmill sedang)	Untuk pemotongan atau jalur isolasi sedikit lebih besar
C3	Cutter 3 (Endmill besar)	Untuk area isolasi luas, biasanya 0.8 – 1.0 mm
C4	Cutter 4 (paling besar)	Untuk clearing (menghapus tembaga yang luas) atau cutout PCB
B	Drill Bit / Bor (Boring)	Untuk pengeboran lubang (via atau lubang kaki komponen)
V	V-Bit	Untuk pemotongan menggunakan V-cutter, misalnya V-bit 30°, 0.1 mm ujung tajam

FlatCAM tidak mengunci fungsi berdasarkan label ini. Artinya, label *TT* seperti *C1* atau *V* hanya sebagai referensi pengguna, bukan sebagai parameter aktif yang mengubah gerakan mesin.

- Tool Order: Mengatur urutan pemotongan untuk beberapa tool (jika lebih dari satu).

Pilihan: No, Forward, Reverse

b. Add from DB

- Tool Dia: Ukuran diameter alat potong dari database. Contoh: 0,1 mm (atau bisa diketik manual).
- Tombol Search and Add / Pick from DB digunakan untuk menambahkan alat dari database FlatCAM.

c. Parameters for Tool

- Passes:
Jumlah lintasan (pengulangan) untuk membuat jalur isolasi.
Contoh: 2 berarti proses akan dilakukan 2 kali, membuat jalur lebih lebar.
- Overlap:
Persentase tumpang tindih antar lintasan jika Passes > 1.
Misal: 10% dari 0.7 mm = 0.07 mm overlap antara lintasan pertama dan kedua.
- Milling Type:
 - Climb: Arah pemotongan mengikuti arah putaran tool (umumnya digunakan karena lebih halus).
 - Conventional: Berlawanan arah dengan putaran tool
- Follow:
Centang jika ingin tool mengikuti jalur pad tanpa offset (jarang dipakai untuk isolation)
- Isolation Type:
 - Full: Mengelilingi seluruh pad dan jalur.
 - Ext: Hanya sisi luar.
 - Int: Hanya sisi dalam pad

d. Tombol Apply

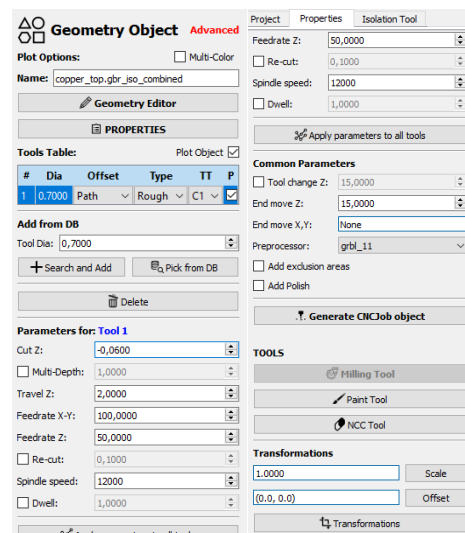
- Apply parameters to all tools:
Jika menggunakan lebih dari 1 tool, maka parameter yang sudah diatur akan diterapkan ke semua tool.

e. Common Parameters

- Rest: Untuk membuat jalur hanya pada area yang belum terpotong oleh tool sebelumnya.
- Combine: Menggabungkan beberapa hasil isolasi menjadi satu file geometry. ✓ Disarankan dicentang agar output tidak terpecah-pecah.
- Check Validity: ✓ Dicentang untuk memastikan semua jalur bisa dibentuk menjadi geometry valid sebelum diproses lebih lanjut.

f. Generate Geometry

Setelah pengaturan parameter pada Isolation Routing selesai, klik tombol *"Generate Geometry"* untuk membuat objek geometri pemrosesan jalur PCB berdasarkan file Gerber. Langkah ini akan menghasilkan Geometry Object yang nantinya akan digunakan untuk membuat file G-code :



Gambar 4. 49 Proses Geometry Object Copper Wire

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

1) Plot Options

- Multi-Color: Jika dicentang, jalur berbeda akan ditampilkan dalam warna yang berbeda. Berguna untuk identifikasi jalur yang kompleks.

2) Tools Table (Tabel Alat Potong)

Tabel 4- 4 Tools Table (Tabel Alat Potong)

Kolom	Fungsi
#	Nomor urutan alat
Dia	Diameter pahat/mata bor (contoh: 0.700 mm)
Offset	Jalur offset: biasanya default 'Path' - Path : Pahat mengikuti tepat di atas garis aslinya. - In : Pahat bergerak ke dalam garis, cocok untuk lubang atau kontur bagian dalam. - Out : Pahat bergerak ke luar garis, cocok untuk memotong tepi luar jalur PCB. - Custom : Offset diatur secara manual sesuai kebutuhan khusus.
Type	Jenis pemrosesan: Iso, Rough, Finish - Iso (Isolation) : Untuk membuat jalur isolasi di sekitar jejak tembaga (copper trace). - Rough : Untuk membersihkan area tembaga yang luas di luar jalur, biasanya setelah isolasi. - Finish : Untuk pemrosesan akhir agar hasil potongan lebih halus dan presisi.
TT	Tool Type, misal C1 (Endmill biasa), B (bor), V (V-bit)
P	Centang untuk mengaktifkan tool tersebut

3) Parameters for Tool 1

Tabel 4- 5 Parameters for Tool

Parameter	Fungsi
Cut Z	Kedalaman potong (contoh: -0.060 mm berarti memotong 0,06 mm ke bawah)
Multi-Depth	Jika dicentang, pemotongan bertahap (misal dari 0 ke -0.06 dalam beberapa pass)

Parameter	Fungsi
Travel Z	Tinggi gerakan saat pindah antar posisi (biasanya 1-3 mm, agar tidak menabrak objek)
Feedrate X-Y	Kecepatan gerak horizontal (mm/menit), contoh: 100 mm/mnt
Feedrate Z	Kecepatan turun mata bor saat memotong (lebih rendah dari X-Y, contoh: 50 mm/mnt)
Re-cut	Pemotongan ulang jalur (biasanya tidak dicentang)
Spindle Speed	Kecepatan putar spindle (dalam RPM), contoh 12000 rpm
Dwell	Delay jeda sebelum gerak (diaktifkan jika ingin menunggu putaran stabil)

4) Common Parameters

Tabel 4- 6 Common Parameters

Parameter	Fungsi
Tool change Z	Tinggi alat saat proses pergantian tool (tidak dicentang jika single tool CNC)
End move Z	Ketinggian setelah proses selesai (biasanya 10–20 mm)
End move X,Y	Koordinat akhir setelah proses selesai (biasanya None)
Preprocessor	Format G-code output, untuk GRBL pilih: grbl_11

5) Tools Section

- Milling Tool: Proses milling untuk jalur tembaga.
- Paint Tool: Untuk mengisi area, biasanya tidak digunakan untuk jalur PCB.

- NCC Tool: Untuk menghilangkan copper di sekitar jalur (negative copper clearance).

6) Transformations

Tabel 4- 7 Transformations

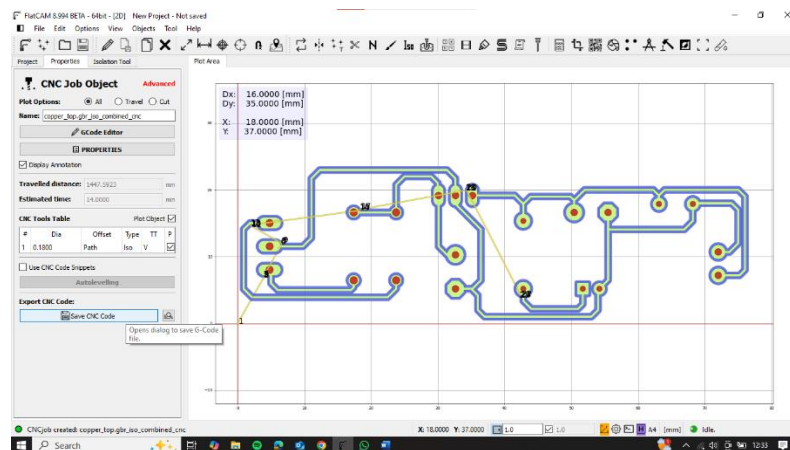
Opsi	Fungsi
Scale	Mengubah skala ukuran, biasanya 1.0000
Offset	Memindahkan posisi (X,Y), biasanya (0.0, 0.0)

7) Proses Generate Geometry

Setelah semua parameter di atas diatur selanjutnya klik tombol *"Generate CNCJob Object"*, maka FlatCAM akan menghasilkan CNC Job berdasarkan Geometry Object yang telah dibuat

g. Save G-code

Hasil CNC Job ini bisa disimpan sebagai G-code dan dikirim ke mesin CNC menggunakan UGS atau G-code sender lainnya.



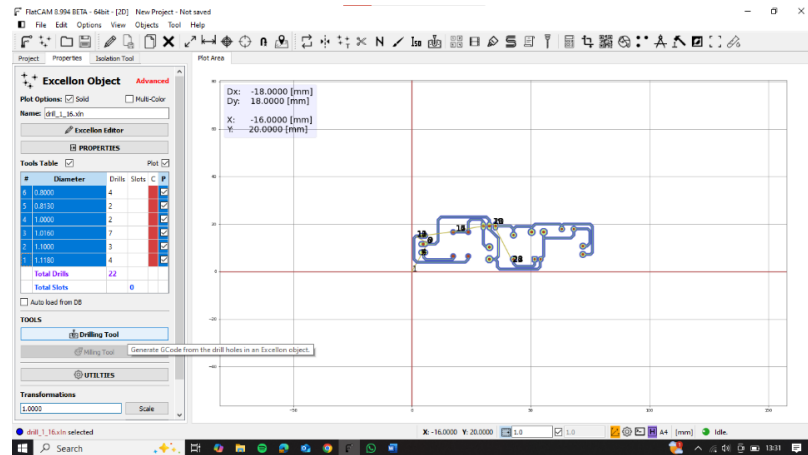
Gambar 4. 50 Proses Save CNC Code Copper Wire

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

6. Pengaturan File Excellon

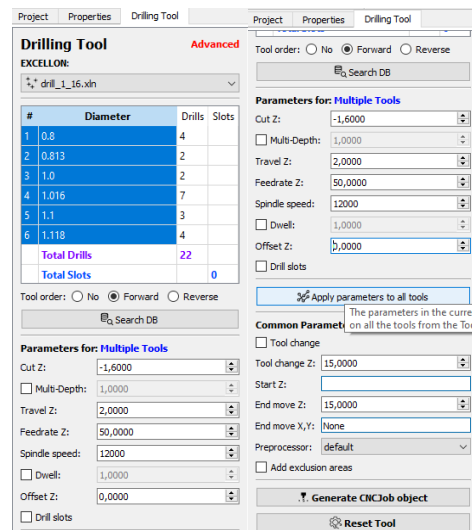
Klik dua kali pada file Excellon yang telah dimasukkan, misalnya *drill_1_16.xln*, untuk membuka pengaturan detail file tersebut. Tentukan ukuran lubang yang akan digunakan dalam proses pengeboran. Apabila semua lubang ingin dipilih sekaligus, klik ikon tanda pagar (#) untuk

menyeleksi seluruh ukuran lubang. Setelah itu, klik tombol Drilling Tool untuk memulai proses pembuatan jalur lubang (*drill path*) pada layout PCB.



Gambar 4. 51 Proses Pemilihan Lubang & Drilling Tool
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Setelah tombol *Drilling Tool* ditekan, isilah parameter settingan berikut sesuai kebutuhan dan spesifikasi mesin CNC yang digunakan :



Gambar 4. 52 Proses Drilling Tool
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Parameter Pengisian:

- Cut Z: Kedalaman pemotongan lubang hingga tembus PCB.

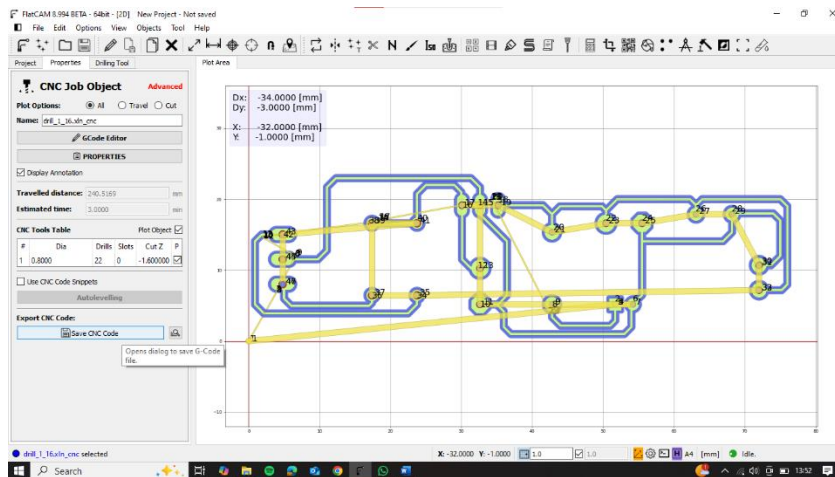
- Multi-Depth: Aktifkan jika proses pengeboran dilakukan secara bertahap (misalnya untuk material tebal). Jika satu kali bor cukup, biarkan tidak dicentang.
- Travel Z: Jarak gerak vertikal spindle saat berpindah dari satu titik lubang ke titik lainnya (agar tidak menyentuh permukaan PCB saat bergerak).
- Feedrate Z: Kecepatan turun bor saat melakukan pengeboran (mm/menit)
- Spindle Speed: Kecepatan putar spindle motor dalam RPM (rekomendasi umum untuk mata bor kecil).
- Dwell: Waktu jeda di dasar lubang sebelum naik kembali, isi 1.0000 detik jika ingin bor menunggu sejenak agar lubang benar-benar bersih.
- Offset Z: Biarkan 0.0000, kecuali jika Anda ingin mengatur offset vertikal tambahan.
- Drill Slots: Centang jika file mengandung jalur bor memanjang (slot), jika hanya lubang bulat biasa, biarkan tidak dicentang.

Setelah mengatur parameter tersebut, klik *[Apply parameters to all tools]* agar semua ukuran bor menggunakan pengaturan yang sama.

Parameter Umum Tambahan:

- Tool change Z: Centang dan isi 15.0000 (sumbu Z bergerak ke atas 15mm) jika menggunakan lebih dari satu mata bor dan mesin mendukung tool changer otomatis.
- Start Z dan End Move Z: Diisi 15.0000 (bergerak 15mm) untuk posisi awal dan akhir spindle di sumbu Z saat memulai atau mengakhiri pekerjaan.
- End move X,Y: Biarkan None jika tidak perlu menggeser spindle ke posisi tertentu setelah pengeboran selesai.
- Preprocessor: Biarkan default atau pilih grbl_11 jika menggunakan GRBL 1.1 sebagai firmware CNC.

Jika semua parameter telah diatur dengan benar, klik [*Generate CNCJob Object*] untuk membuat file CNC pekerjaan pengeboran lubang PCB. Simpan G-code dan kirim ke mesin CNC menggunakan UGS atau G-code sender lainnya.

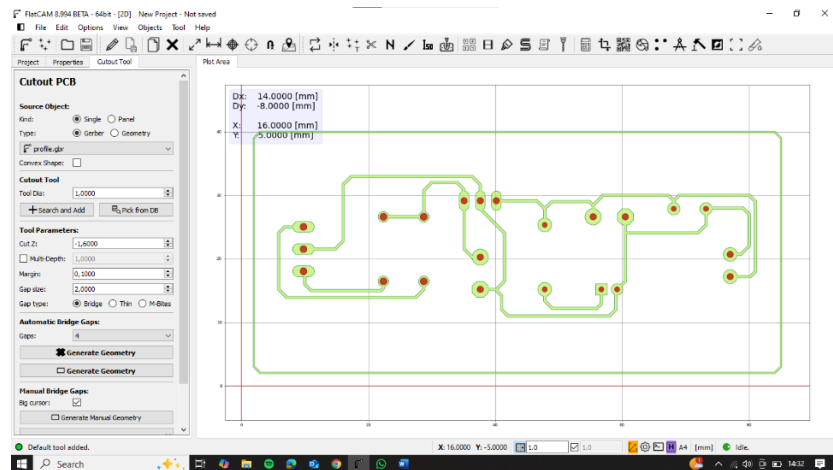


Gambar 4. 53 Save CNC Code drill

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

7. Pengaturan File Profile (Outline)

File profile digunakan untuk menentukan garis batas atau dimensi luar dari papan PCB. Untuk memulai, buka menu *File > Open > Open Gerber*, lalu arahkan ke folder *GerberFiles* dan pilih file *Profile*. Setelah file terbuka, klik dua kali pada file tersebut untuk menampilkan pengaturan, kemudian pilih opsi *Cutout Tool*. Atur parameter-parameter sesuai kebutuhan proses pemotongan batas PCB :



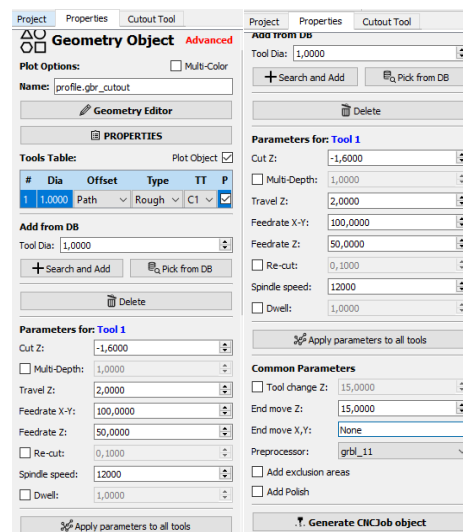
Gambar 4. 54 Proses Cutout Tool Profile

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

- Source Object
 - Kind: Dipilih Single, artinya hanya satu board yang akan diproses (bukan panel multi-board).
 - Type: Dipilih Gerber, karena file sumber yang digunakan adalah file Gerber profile.gbr.
- Cutout Tool
 - Tool Dia: Menunjukkan diameter mata bor/endmill yang digunakan untuk memotong outline papan PCB.
- Tool Parameters
 - Cut Z: Menunjukkan kedalaman potong hingga menembus seluruh ketebalan PCB (umumnya 1.6 mm).
 - Multi-Depth: Proses pemotongan dilakukan secara bertahap (tidak langsung satu kali kedalaman penuh), untuk menghindari tekanan berlebih pada tool.
 - Margin: Sebagai jarak tambahan antara garis potong dengan garis outline PCB untuk keamanan.
 - Gap Size: Ukuran celah (jembatan) kecil yang dibiarkan tidak terpotong penuh agar papan tidak terlepas dari bahan saat proses milling.

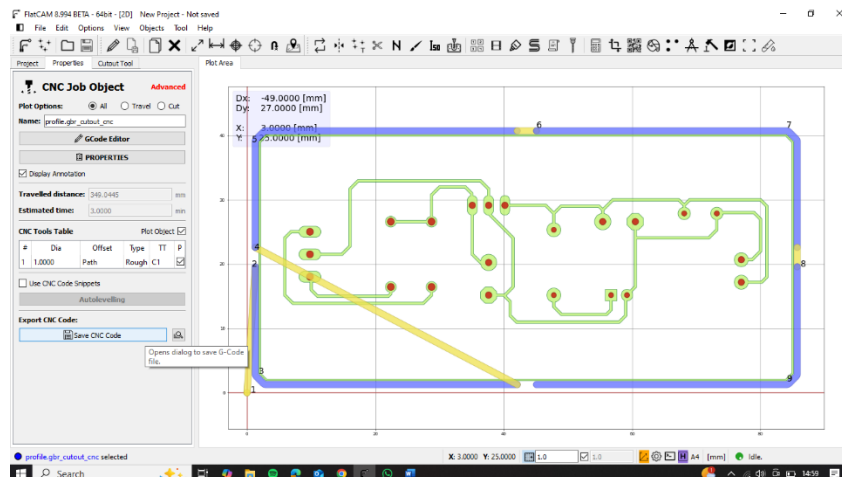
- Gap Type: Dipilih Bridge, artinya menggunakan jembatan berbentuk lurus.
- Automatic Bridge Gaps
 - Gaps: Jumlah jembatan (penahan) otomatis yang akan dibuat di sekitar PCB agar tidak jatuh saat pemotongan selesai.

Setelah parameter diatur, tekan tombol *[Generate Geometry]* untuk membuat jalur potong outline berdasarkan pengaturan di atas. Kemudian klik dua kali pada hasil file *geometry* tersebut dan atur kembali parameter-parameter di bagian *Geometry Object* sesuai kebutuhan (misalnya Cut Z, Feedrate, Spindle Speed, dll).



Gambar 4. 55 Proses Geometry Profile
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Jika semua parameter telah diatur dengan benar, klik *[Generate CNCJob Object]*. Simpan file G-code yang dihasilkan dan kirim ke mesin CNC menggunakan *UGS (Universal G-code Sender)*.



Gambar 4. 56 Proses Save CNC Code Profile
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

8. File Output G-code

Dari seluruh langkah pengolahan di atas, maka akan dihasilkan tiga buah file G-code yang memiliki fungsi masing-masing, yaitu:

- File G-code *copper_top* : Berfungsi untuk proses isolation routing yaitu menggambar jalur wiring pada permukaan tembaga PCB.
- File G-code *drill* : Digunakan untuk proses pengeboran lubang kaki komponen sesuai dengan posisi pad pada layout PCB.
- File G-code *profile* : Digunakan untuk memotong atau membentuk dimensi luar PCB sesuai outline yang telah dirancang.

Ketiga file G-code tersebut siap dikirim dan dijalankan pada mesin CNC menggunakan software seperti *UGS (Universal G-code Sender)* untuk menghasilkan papan PCB fisik yang siap digunakan

4.2.4. Proses Software UGS

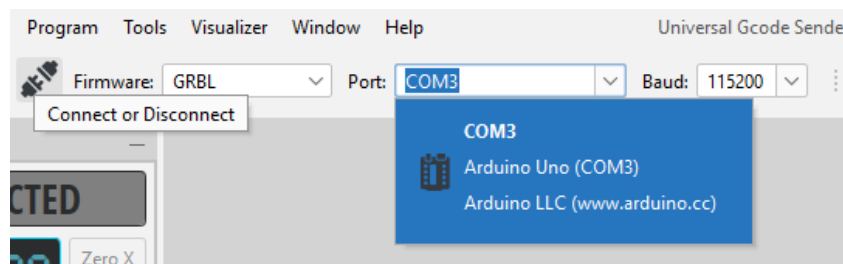
Universal G-code Sender (UGS) merupakan software antarmuka yang digunakan untuk mengirim file G-code ke mesin CNC berbasis Arduino yang menggunakan firmware GRBL. UGS berfungsi sebagai jembatan antara komputer dan mesin CNC, memungkinkan pengguna untuk mengontrol pergerakan motor stepper, memulai pemrosesan G-code, serta melakukan fungsi tambahan seperti

homing, jogging, dan monitoring status mesin secara real-time. Langkah-langkah Menggunakan *Universal G-code Sender (UGS)* :

1. Buka Universal Gcode Sender (UGS)

Jalankan aplikasi *Universal G-code Sender (UGS)* di komputer. Sambungkan Arduino Uno (yang telah terinstal firmware GRBL) ke komputer menggunakan kabel USB.

Pada tampilan awal UGS, pilih Firmware: GRBL, kemudian sesuaikan *Port* yang digunakan oleh Arduino (*misalnya COM3 atau COM5*) dan atur *Baud Rate* ke 115200. Setelah itu, klik *Connect* untuk memulai komunikasi antara UGS dan mesin CNC.



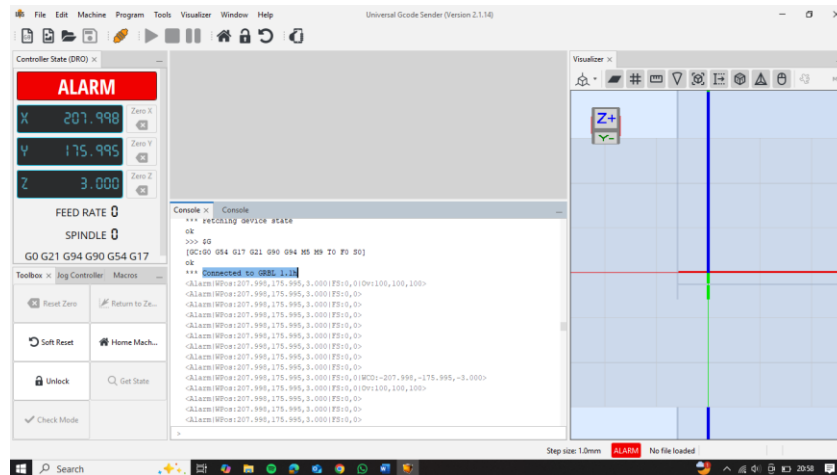
Gambar 4. 57 Proses Koneksi UGS

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

2. Verifikasi Status CNC

Setelah mesin CNC terhubung melalui *Universal Gcode Sender (UGS)*, akan ditampilkan status koneksi pada antarmuka perangkat lunak. Jika muncul status "*IDLE*" (siap) atau "*ALARM*", maka sistem CNC telah berhasil terhubung dengan benar.

Status "*ALARM*" sering kali muncul saat pertama kali terhubung karena fitur *safety lock* bawaan GRBL, seperti belum dilakukan proses homing, limit switch aktif, atau karena UGS mendeteksi kondisi awal mesin yang belum aman. Untuk mengatasinya, biasanya cukup dengan menekan tombol *Unlock* atau menjalankan perintah *\$X* agar mesin siap digunakan.

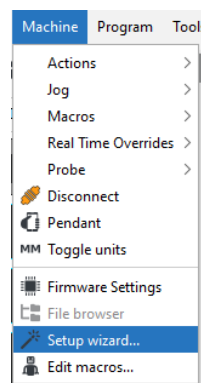


Gambar 4. 58 Indikasi Koneksi GRBL

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

3. Konfigurasi Mesin CNC

Pada *Universal Gcode Sender (UGS)*, fitur *Setup Wizard* memungkinkan pengguna untuk melakukan konfigurasi awal mesin CNC seperti pengaturan limit switch, homing, soft limit, serta kalibrasi gerakan sumbu X, Y, dan Z. Untuk memulai proses ini, klik tab Machine, lalu pilih Setup Wizard dan ikuti langkah-langkah konfigurasi sesuai kebutuhan mesin CNC



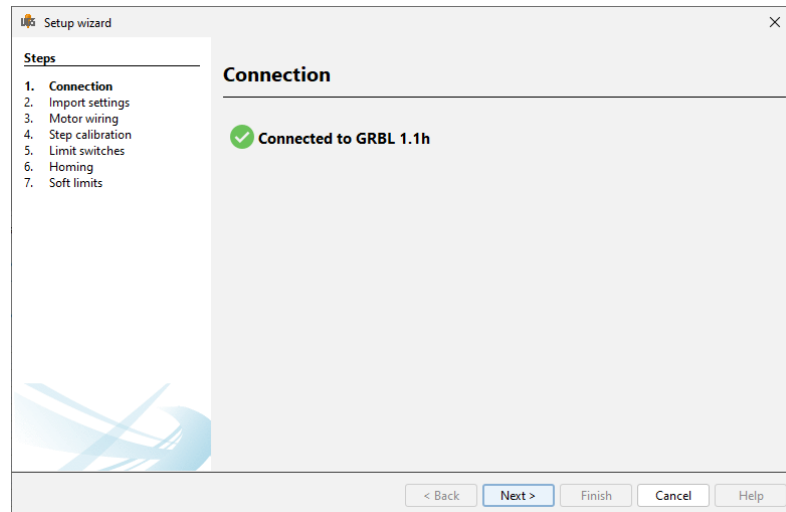
Gambar 4. 59 Menu Setup Wizard

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

a. Koneksi (Connection)

Langkah awal pada *Setup Wizard* adalah memastikan koneksi antara perangkat lunak UGS dengan mesin CNC yang menggunakan firmware

GRBL. Jika mesin telah terhubung dengan benar melalui kabel USB dan firmware GRBL telah terinstal, maka halaman ini akan menampilkan status *"Connected to GRBL 1.1h"* atau versi GRBL yang digunakan. Tampilan ini mengonfirmasi bahwa komunikasi antara komputer dan mesin CNC berhasil dilakukan.

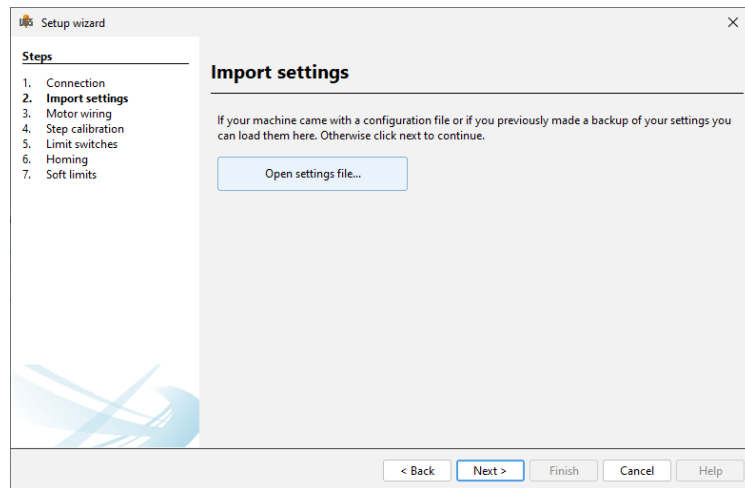


Gambar 4. 60 Connection pada Setup Wizard

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

b. Import Settings

Pada tahap ini, pengguna diberikan opsi untuk mengimpor file konfigurasi (.txt) apabila sebelumnya telah menyimpan pengaturan mesin CNC. Namun, jika tidak memiliki file konfigurasi, langkah ini dapat dilewati dengan menekan tombol Next untuk melanjutkan ke tahap berikutnya.



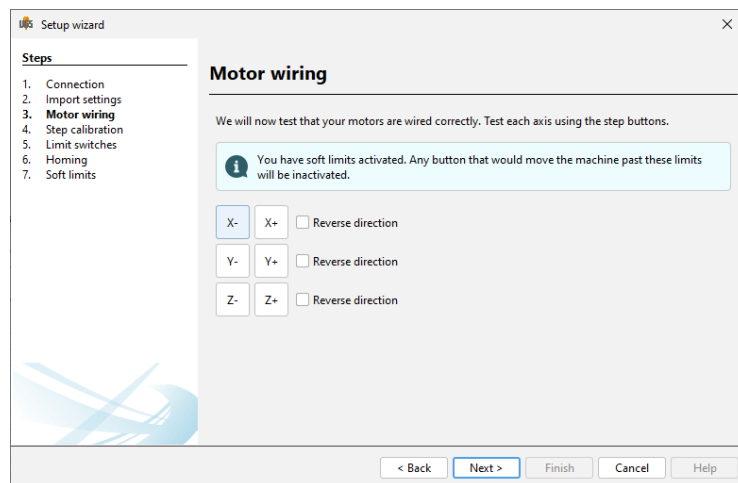
Gambar 4. 61 Import Settings pada Setup Wizard

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

c. Motor Wiring

Pada tahap ini, pengguna dapat menguji arah dan koneksi motor stepper di masing-masing sumbu (X, Y, dan Z) menggunakan tombol arah ($X_{\pm}$, $Y_{\pm}$, $Z_{\pm}$). Jika gerakan motor berlawanan arah dari yang diharapkan, centang opsi *Reverse direction* pada sumbu yang sesuai.

Catatan : Jika *Soft Limits* diaktifkan, tombol yang menyebabkan gerakan melampaui batas akan dinonaktifkan untuk melindungi mesin.



Gambar 4. 62 Motor Wiring pada Setup Wizard

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

d. Step Calibration

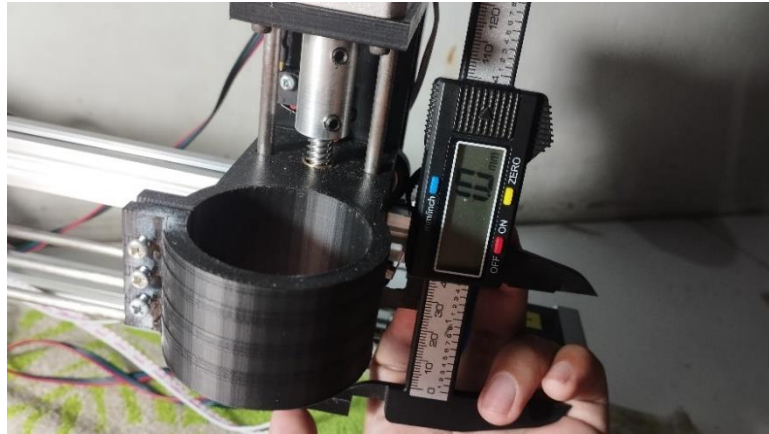
Langkah ini digunakan untuk melakukan kalibrasi langkah motor stepper agar gerakan mesin CNC sesuai dengan ukuran sebenarnya di dunia nyata.

Fungsi tab *Step Calibration* di *Setup Wizard* :

- Menggerakkan sumbu (X, Y, Z) dengan tombol panah,
- Mengukur pergerakan aktual menggunakan penggaris atau alat ukur presisi,
- Memasukkan nilai aktual ke kolom Actual movement,
- Kemudian software akan menghitung estimasi nilai langkah per milimeter (steps/mm) yang diperlukan,
- Klik Update untuk menyimpan hasil kalibrasi baru

Gambar 4. 63 Step Calibration Setup Wizard

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)



Gambar 4. 64 Proses Step Calibration Mesin CNC

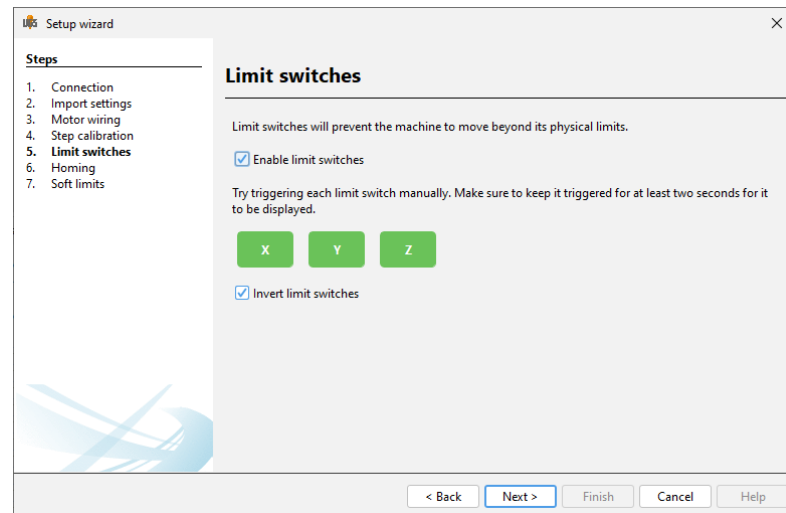
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

e. Limit Switches

Menu ini digunakan untuk mengatur dan menguji fungsi *limit switch* pada mesin CNC. *Limit switch* berfungsi sebagai pengaman agar mesin tidak bergerak melebihi batas fisik area kerja.

Di halaman ini, pengguna dapat :

- Mengaktifkan fitur limit switch dengan mencentang Enable limit switches,
- Menguji setiap sakelar batas pada sumbu X, Y, dan Z dengan menekan masing-masing tombol virtual (X, Y, Z),
- Pastikan tombol limit switch ditekan secara manual setidaknya 2 detik agar sistem mengenali sinyalnya,
- Centang opsi Invert limit switches jika logika sakelar perlu dibalik (misalnya: dari NC ke NO).



Gambar 4. 65 Limit Switches Setup Wizard

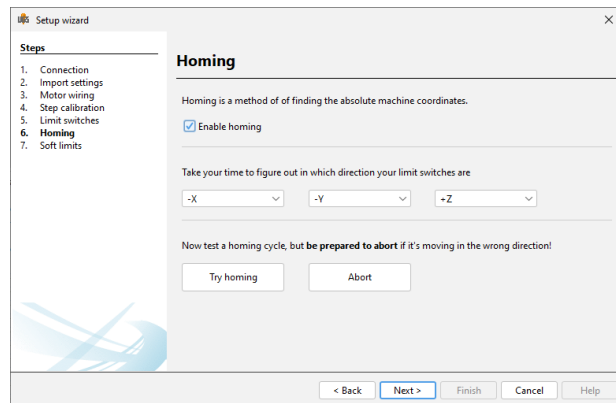
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

f. Homing

Fitur *Homing* berfungsi untuk menemukan koordinat absolut mesin CNC dengan menggerakkan tiap sumbu ke arah limit switch secara otomatis hingga menyentuh titik nol mesin.

Pada halaman ini, pengguna dapat :

- Mengaktifkan fungsi homing dengan mencentang opsi Enable homing,
- Menentukan arah gerak tiap sumbu (X, Y, Z) menuju limit switch masing-masing (misalnya -X, -Y, +Z),
- Melakukan pengujian siklus homing dengan menekan tombol Try homing,
- Jika pergerakan tidak sesuai arah atau berbahaya, tekan tombol Abort untuk menghentikan proses.



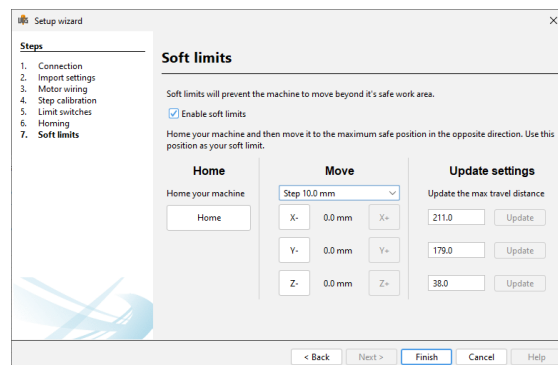
*Gambar 4. 66 Homing Setup Wizard
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)*

g. Soft Limits

Fitur *Soft Limits* berfungsi untuk mencegah mesin bergerak melebihi area kerja yang aman secara perangkat lunak, tanpa harus menyentuh limit switch fisik.

Pada halaman ini, pengguna dapat :

- Mengaktifkan fitur dengan mencentang Enable soft limits.
- Melakukan proses Home terlebih dahulu untuk menandai posisi nol absolut.
- Menggerakkan masing-masing sumbu (X, Y, Z) ke titik paling jauh yang aman secara manual.
- Setelah mencapai batas maksimum tiap arah, masukkan nilai tersebut ke kolom Update the max travel distance, lalu klik Update.



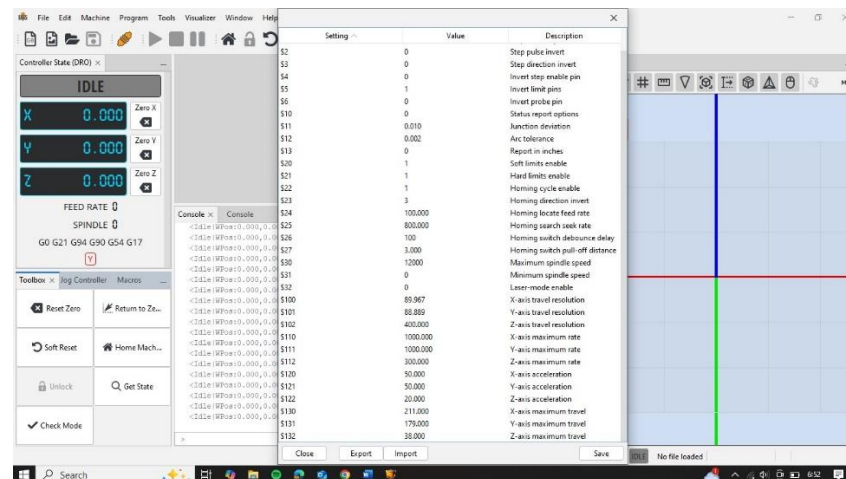
*Gambar 4. 67 Soft Limits Setup Wizard
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)*

Jika seluruh langkah pada *Setup Wizard* telah diselesaikan dengan benar, klik tombol *Finish* untuk menyimpan dan mengaktifkan semua konfigurasi mesin CNC.

4. Konfigurasi Firmware GRBL Secara Manual

Setelah konfigurasi awal melalui *Setup Wizard* selesai, dapat dilakukan penyesuaian lebih lanjut terhadap parameter firmware GRBL secara manual untuk mengoptimalkan kinerja dan akurasi pergerakan mesin CNC. Pengaturan ini bertujuan untuk menyesuaikan karakteristik mekanik sistem secara presisi, sebagaimana telah dijelaskan pada *Dasar Teori 2.2.32 – Software Universal G-Code Sender, bagian 4. Firmware Machine UGS*.

Pengaturan ini dilakukan melalui menu *Machine > Firmware Settings* pada UGS dengan mengubah nilai-nilai parameter konfigurasi GRBL secara manual sesuai kebutuhan mesin CNC.



Gambar 4. 68 Proses Settings Firmware Machine

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Beberapa parameter utama yang telah disesuaikan antara lain :

- $\$100$, $\$101$, dan $\$102$ untuk resolusi langkah (*Travel Resolution*) sumbu X, Y, dan Z sesuai dengan perhitungan langkah per mm. Mesin CNC ini menggunakan mode microstepping 1/16, sehingga motor stepper NEMA 17 menghasilkan 3200 langkah per putaran penuh ($200 \text{ langkah} \times 16 \text{ microstep}$).

- Sumbu X dan Y menggunakan sistem pulley GT2 dengan 20 gigi dan belt GT2 dengan pitch 2 mm, sehingga :

$$\text{Travel Resolution} = \frac{3200 \text{ langkah}}{20 \text{ gigi} \times 2 \text{ mm}} = 80 \text{ langkah/mm}$$

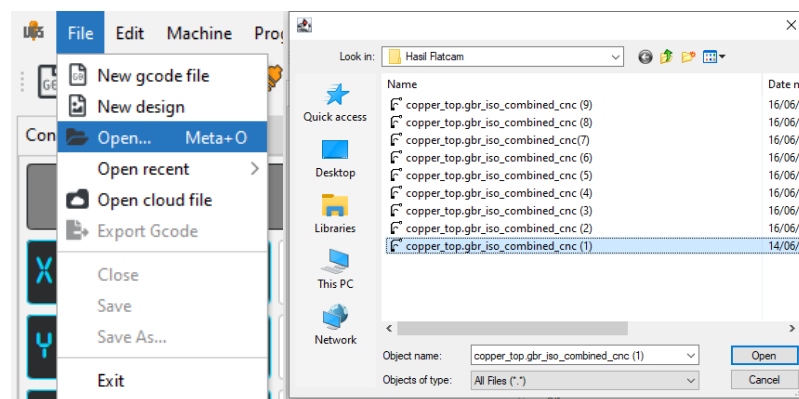
- Sumbu Z menggunakan leadscrew T8 Lead 8 mm (Pitch 2 mm, 4 Start), sehingga dalam satu putaran penuh, screw bergerak sejauh 8 mm, maka :

$$\text{Travel Resolution} = \frac{3200 \text{ langkah}}{8 \text{ mm}} = 400 \text{ langkah/mm}$$

- \$I10–\$I12 untuk kecepatan gerak maksimum tiap sumbu.
- \$I20–\$I22 untuk nilai akselerasi tiap sumbu.
- \$I30–\$I32 untuk jarak maksimum pergerakan sumbu sesuai dimensi kerja mesin.
- \$20, \$21, dan \$22 untuk mengaktifkan soft limit, hard limit, serta fungsi homing.
- \$30 dan \$31 diatur sesuai kapasitas kecepatan spindle motor, yaitu maksimum 12.000 RPM.

5. Unggah File Gcode

Setelah proses pembuatan G-code di FlatCAM selesai dan konfigurasi mesin CNC telah dilakukan, langkah selanjutnya adalah mengunggah *file G-code (.nc)* tersebut ke *Universal Gcode Sender (UGS)*. Caranya, buka UGS lalu masuk ke menu *File > Open*, kemudian pilih *file G-code* yang ingin dijalankan pada mesin CNC.

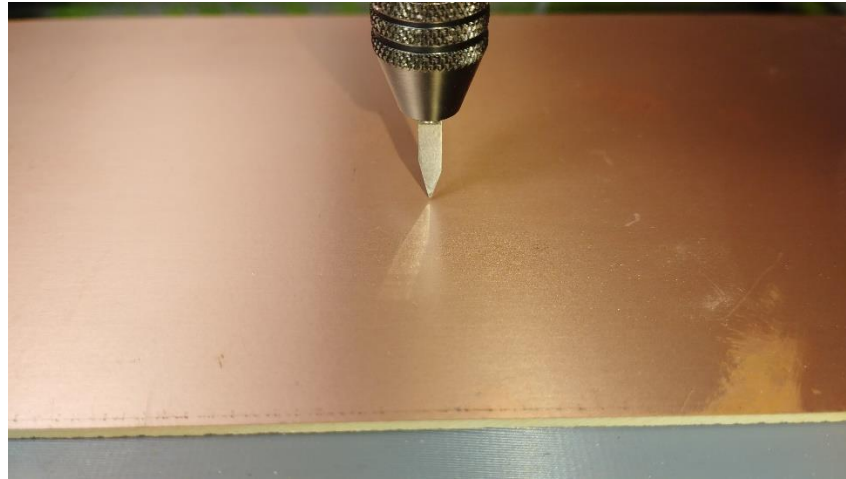


Gambar 4. 69 Proses Input File Gcode

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

6. Atur Titik Nol

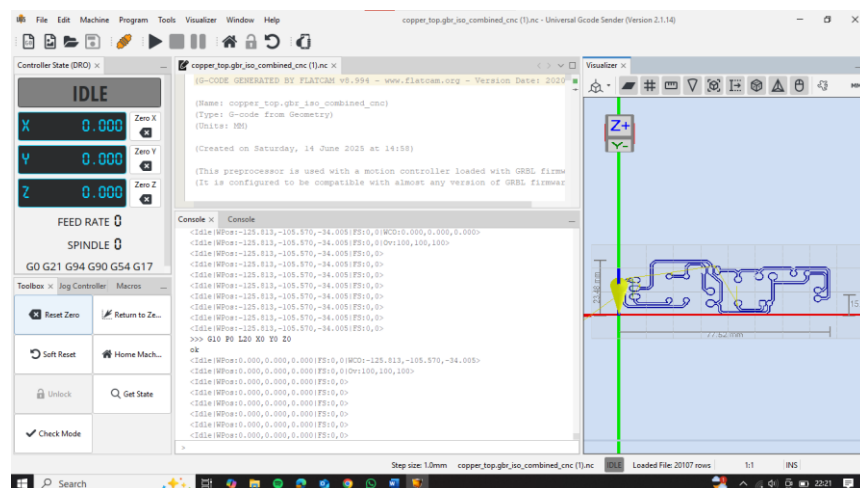
Setelah semua konfigurasi selesai dan *file G-code* berhasil diunggah, langkah selanjutnya adalah mengatur titik nol (*origin*) mesin CNC. Arahkan pahat secara manual ke posisi awal kerja yang diinginkan pada sumbu X, Y, dan Z.



Gambar 4. 70 Proses Titik Nol pada Benda Kerja (PCB)

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Setelah posisi sesuai, klik tombol “Reset Zero” pada masing-masing sumbu (X, Y, dan Z) di UGS. Langkah ini penting agar mesin CNC mengenali titik awal sebagai acuan sebelum mengeksekusi jalur G-code.



Gambar 4. 71 Proses Reset Zero pada UGS

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

7. Autoleveling PCB dan Pengujian Kerataan Bed Mesin CNC

Sebelum proses *autoleveling* dilakukan, permukaan bed mesin CNC diperiksa terlebih dahulu untuk memastikan kerataannya menggunakan alat *waterpass*. Pengujian ini bertujuan untuk mendeteksi adanya kemiringan pada bed yang dapat memengaruhi hasil ukiran jalur PCB.



Gambar 4. 72 Proses Waterpass Test pada Bed Mesin CNC

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

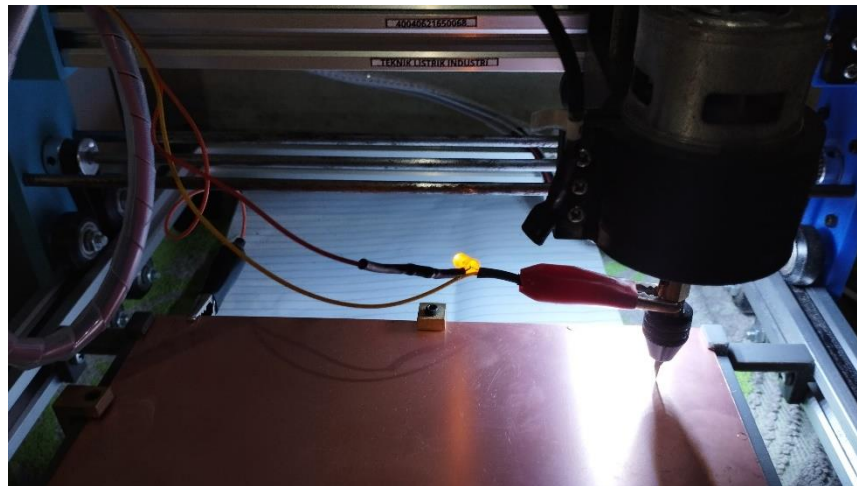
Berdasarkan hasil pengukuran kerataan permukaan *bed* mesin CNC menggunakan alat *waterpass manual* pada sumbu *vertikal*, *horizontal*, dan *diagonal* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.72, diperoleh bahwa posisi gelembung air masih berada di antara dua garis tengah indikator. Hal ini menunjukkan bahwa permukaan *bed CNC* berada dalam kondisi yang masih rata dan layak digunakan, tanpa kemiringan yang signifikan pada ketiga arah pengukuran tersebut. Hal ini menjadi indikasi bahwa secara umum, struktur rangka dan bidang kerja mesin sudah cukup presisi.

Namun, walaupun *bed* terlihat rata, proses *autoleveling* tetap perlu dilakukan karena beberapa faktor teknis berikut:

- PCB dapat memiliki ketebalan yang tidak merata.
- Permukaan bed CNC terbuat dari bahan filamen PLA yang bisa berubah bentuk karena panas selama proses pencetakan 3D

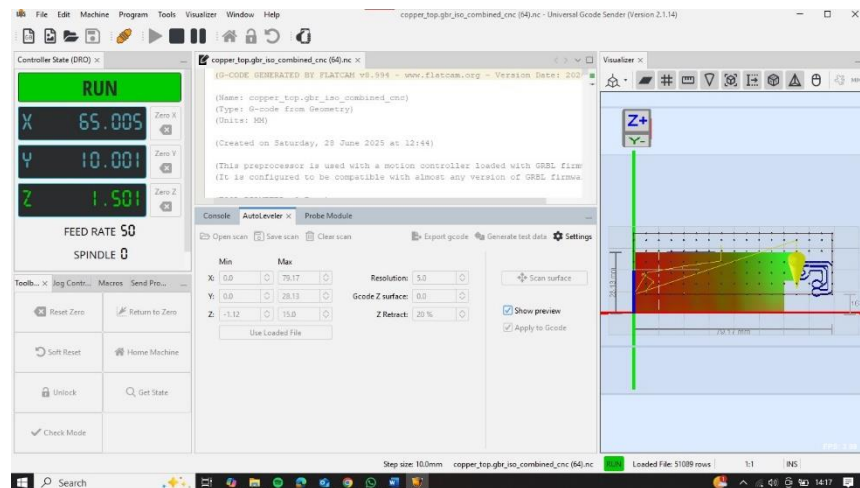
Oleh karena itu, *klem* dipasang pada sisi PCB untuk menahannya agar tetap rata dan stabil selama proses probing berlangsung. Setelah titik nol (*origin*) ditentukan pada pojok kiri bawah PCB, maka langkah berikutnya adalah melakukan *autoleveling*. *Autoleveling* dilakukan dengan cara :

- a. Memasang probe/capit buaya auto-leveling ke spindle atau ujung mata pahat, dan ujung lainnya ke permukaan PCB.
- b. Mengaktifkan fitur “*AutoLeveler*” pada software G-code sender seperti UGS atau bCNC.
- c. Mengatur parameter-parameter autoleveling, antara lain
 - Resolution : menentukan jarak antar titik probing (misalnya 1.0 mm untuk detail tinggi, atau 2.0 mm untuk proses cepat).
 - Gcode Z surface : tetap diisi 0.0 karena hasil probe sebelumnya sudah menentukan titik $Z = 0$ sebagai permukaan referensi.
 - Z Retract : misalnya 100% dari nilai Z End pada G-code agar pahat naik cukup aman setelah probe tiap titik.
- d. Kemudian klik tombol “*Scan Surface*” untuk memulai pemetaan. CNC akan bergerak ke titik-titik dalam grid, melakukan probing, dan menyusun data heightmap.
- e. Setelah selesai, centang “*Apply to Gcode*” agar hasil heightmap diterapkan ke jalur G-code secara otomatis.



Gambar 4. 73 Proses Autoleveler pada PCB

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)



Gambar 4. 74 Proses Autoleveler pada UGS

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

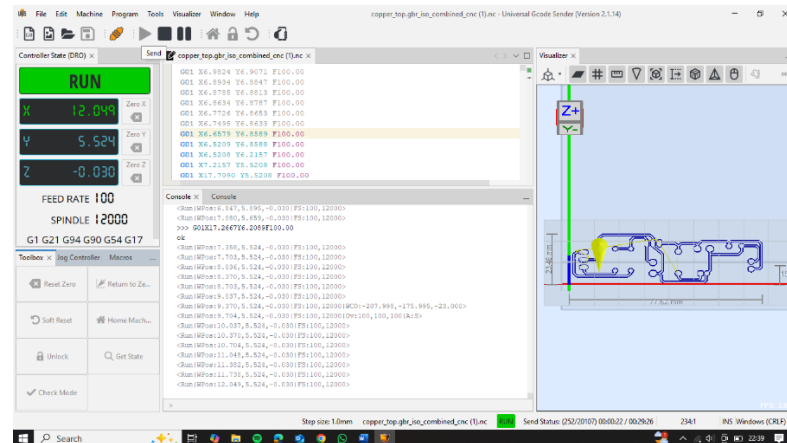
- f. Klik “Export G-code” untuk menghasilkan file G-code baru yang telah disesuaikan dengan kontur permukaan PCB.
- g. Kemudian simpan file *autoleveled.gcode* tersebut dan lepaskan probe atau capit buaya auto-leveling yang terhubung dengan spindel dan PCB. Langkah ini memastikan bahwa setiap pergerakan sumbu Z saat proses grafir akan menyesuaikan ketinggian riil permukaan PCB, sehingga kedalaman grafir tetap konsisten meskipun permukaan PCB tidak sepenuhnya rata.

8. Kirim File Gcode

Setelah titik nol dan proses *auto-leveling* selesai diatur, lakukan perintah “Return to Zero” untuk mengembalikan posisi mesin ke titik awal koordinat kerja (X, Y, dan Z) yang telah ditentukan sebelumnya. Pastikan mata bor (sumbu Z) telah menyentuh permukaan PCB dengan tepat dan tidak melayang. Selanjutnya, kirimkan file *autoleveled.gcode* ke mesin CNC dengan mengklik tombol “Send” pada *Universal Gcode Sender (UGS)*.

Perintah ini akan memulai eksekusi jalur kerja CNC sesuai file G-code yang diinput. Jika berhasil, status CNC akan berubah menjadi “Run”,

menandakan bahwa proses pemotongan atau pencetakan sedang berjalan.



Gambar 4. 75 Proses kirim File G-Code

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

9. Pantau Proses CNC

Selama proses berjalan, pengguna dapat memantau status perintah, posisi koordinat sumbu, serta pesan yang dikirimkan oleh GRBL melalui panel Console dan Status pada *Universal Gcode Sender (UGS)*. Informasi ini sangat membantu untuk memastikan bahwa mesin CNC berjalan sesuai jalur G-code dan tidak terjadi kesalahan.

Jika selama proses berjalan terjadi kesalahan atau kondisi tidak diinginkan, pengguna dapat segera mengambil tindakan darurat dengan menekan tombol *Pause*, *E-Stop*, atau *Soft-Reset* yang tersedia pada UGS untuk menghentikan atau menjeda mesin CNC secara aman.



Gambar 4. 76 Proses Running Mesin CNC

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)