

RANCANG BANGUN MESIN *DESAIN LAYOUT* PCB DAN PENGAPLIKASIAN BOR OTOMATIS DENGAN SISTEM CNC (*COMPUTER NUMERICAL CONTROL*) MENGGUNAKAN APLIKASI GRBL

Moh. Rohli¹, Koko Joni², Achmad Ubaidillah³, Achmad Fiqi Ibadillah⁴, Riza Alfita⁵, dan Deni Tri Laksono⁶

¹ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Trunojoyo Madura

Copresponent Author : mohrohli886@gmail.com

Abstract — *With rapid technological advances, automation systems, especially cnc machines, have become essential in various fields. Cnc machines turn manual processes into automatic, saving time and manpower. Despite this, making pcb layouts is still a challenge for many students because of the complicated manual process. This machine not only carves pcb stripes, but also by drilling automatically can improve efficiency in the manufacture of electronics chains. The purpose of this research is to design a pcb layout machine and automatic drilling application with a computer numerical control system using the grbl application. The tool uses proteus 8 software to design the series and layout, then makes it a gerber file for engraving and a drill file for drilling. The flatcam converts gerber and drill files into g-code files, then sends them to grbl to send orders to arduino uno. The stepper motor nema 17 with axes x,y,z where the y axis to move the workboard forward and back, the x axis for moving the spindle motor right and left, the z axis is for moving spindle motors up and down. The spindle engine is for holding and rotating the drill eye. The stepper's motor movements have a significant impact on the results obtained, because it requires calibration according to the stepper motor specifications used. Based on the test results that have been performed, the layout of the pcb has an average error rate of -0.1 mm with a presentation error of -0.001%, the error is caused by the irregularity of the bottom surface of the working dimension that is less straight on the y axis.10*

Keyword — *Faltcam, grbl, motor, spindle.*

Abstrak — Dengan kemajuan teknologi yang pesat, sistem otomasi, terutama mesin cnc, telah menjadi penting dalam berbagai bidang. Mesin cnc mengubah proses manual menjadi otomatis, menghemat waktu dan tenaga manusia. Meskipun demikian, pembuatan layout pcb masih menjadi tantangan bagi banyak pelajar karena proses manual yang rumit. Mesin ini tidak hanya mengukir jalur pcb, tetapi juga dengan pengeboran secara otomatis dapat meningkatkan efisiensi dalam pembuatan rangkaian elektronika. Tujuan dari penelitian ini yaitu merancang mesin layout pcb dan pengaplikasian bor otomatis dengan sistem cnc (computer numerical control) menggunakan aplikasi grbl. Alat ini menggunakan software proteus 8 untuk mendesain rangkaian dan desain layout kemudian dijadikan file gerber untuk mengukir dan file drill untuk pengeboran. Flatcam untuk mengubah file gerber dan file drill ke dalam bentuk file g-code, kemudian di kirim ke grbl untuk mengirim perintah ke arduino uno. Arduino sebagai penerima perintah dari grbl kemudian mengirimkan sinyal ke cnc shile untuk menjalankan motor melalui cnc shile. Motor stepper nema 17 dengan sumbu x,y,z dimana sumbu y untuk menggerakkan papan

kerja ke depan dan belakang, sumbu x untuk menggerakkan motor spindle ke kanan dan kiri, sumbu z untuk menggerakkan motor spindle ke atas dan bawah. Motor spindle untuk memegang dan memutar mata bor. Pergerakan motor *stepper* sangat mempengaruhi pada hasil yang di peroleh, karna itu dibutuhkan kalibrasi sesuai spesifikasi motor stepper yang di gunakan. Pergerakan putaran motor *stepper* harus memiliki tingkat ketelitian 1mm pada setiap *step*-nya, dari hasil perhitungan step yang di butuhkan pada alat ini yaitu 800 step. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, hasil pengukiran layout pada pcb memiliki rata – rata tingkat kesalahan -0.1 mm dengan *presentase error* - 0.001% , kesalahan tersebut disebabkan oleh tidak ratanya permukaan alas dimensi kerja yang kurang lurus pada sumbu y.

Kata kunci — *Faltcam, grbl, motor, spindle.*

I. PENDAHULUAN

Dengan kemajuan yang semakin pesat, teknologi telah memiliki efek yang sangat besar pada segala bidang. Saat ini, kita sering mendengar tentang perkembangan mesin teknologi yang dirancang untuk membantu manusia dalam hal apa pun dengan menggunakan teknologi komputer yang berdampak pada penggunaan sistem otomasi. Sistem otomasi adalah teknologi yang berkaitan dengan aplikasi mekanik, elektronika, dan sistem yang berbasis komputer. Adanya sistem otomatis membuat pekerjaan manual lebih mudah dan menghemat waktu dan tenaga manusia. Teknik kontrol yang beragam memastikan kecepatan, efektivitas, dan keakuratan yang sangat tinggi. Di sini ada yang disebut Sistem Pengendalian Numerik Komputer (CNC) dengan program yang dikontrol langsung oleh komputer.[1]

Mesin CNC ini bekerja dengan tiga sumbu X, Y, dan Z. G-kode mengatur arah motor X, Y, dan Z. Motor stepper sumbu X mengatur koordinat X, Y, dan motor Z mengatur kedalaman.[2] Mesin CNC ini bekerja sesuai dengan pola gambar benda kerja yang dibuat dan dilengkapi dengan sistem kontrol yang terdiri dari beberapa komponen yang dihubungkan antara satu sama lain melalui kabel. Beberapa komponen penting dalam sistem kontrol mesin CNC ini adalah komputer, *Breakout Board*, *Driver Motor*, *Stepper Motor*, dan *Power Supply*.[3]

Pada saat ini, sering kali di kalangan pelajar mulai dari siswa maupun mahasiswa mengalami kesulitan dalam

pembuatan *Layout* pada papan PCB. Dikarenakan membutuhkan tahapan dalam pembuatan PCB sebelum dapat digunakan harus melewati proses pencetakan jalur sesuai rangkaian yang di inginkan.[4] Tahapan yang di lakukan dengan cara manual yang setiap bagiannya memerlukan bahan dan alat yang berbeda yaitu mulai dari mencetak atau ngeprint *Layout*, mengopi *Layout* tersebut ke dalam kertas, menggosok, menerangi garis *Layout* pada papan PCB agar tidak ada jalur yang putus pada saat proses feridclorid, serta menferid cloris atau mengupas tembaga yang ada pada PCB. Tahap selanjutnya yaitu pengeboran di setiap titik kaki komponen yang akan di letakkan. Pengeboran lubang merupakan proses yang menentukan pola peletakan komponen pada PCB, semakin kompleks suatu rangkaian maka lubang komponen akan semakin banyak, sehingga bisa terjadi kesalahan di mana ada beberapa titik yang tidak dibor apabila dilakukan secara manual.[5] Semua kegiatan tersebut sangat rumit dan membutuhkan bahan dan alat yang berbeda, juga terkadang menguras waktu dan tenaga kita. Dengan teknologi sekarang ini pengerjaan manual seperti itu sudah di ganti secara otomatis.

Terdapat beberapa penelitian yang sudah di lakukan terkait rancang bangun mesin pembuat PCB. antara lain yaitu Rancang bangun mesin CNC *milling* menggunakan *system* kontrol GRBL untuk pembuatan *Layout* PCB, mesin CNC ini dikendalikan dengan menggunakan *Software* GRBL di mana ketika program dimasukkan kedalam *Software* tersebut, *Stepper* motor, *Spindle* serta mata bor akan bergerak. Perancangan ini menggunakan 3 buah *Stepper* motor di mana setiap *Stepper* motor berfungsi untuk menggerakkan sumbu X, Y dan Z. *Spindle* digunakan sebagai pengendali mata bor yang berfungsi untuk mengukir *Layout* pada PCB.[1] Yang kedua Perancangan sistem kontrol CNC pengebor PCB Otomatis Berbasis Raspberry PI. Pada penelitian ini, menggunakan komputer dengan perangkat lunak BCNC sebagai tatap muka pergerakan CNC. Mesin ini digerakkan dengan motor *stepper* dan motor DC sebagai *spindle*. Pada *software* BCNC ini proses pengeboran dilakukan dengan memasukkan kode-kode berupa *gcode* yang nantinya dapat terbaca oleh CNC.[4] Yang ke tiga Rancang Bangun Cnc (*Computer Numerically Controlled*) PCB Layout Berbasis Mikrokontroler hasil perancangan dan pembuatan alat mesin CNC untuk mengukir *layout* pada PCB bekerja dengan menggunakan mikrokontroller Arduino UNO sebagai pengirim *Firmware* GRBL dan menggunakan aplikasi CNC untuk mengontrol mesin CNC. Alat ini menggunakan tiga (3) motor *stepper* nema17 sebagai penggerak mesin dengan tiga axis yaitu X, Y dan Z, selanjutnya mesin CNC menggunakan bor sebagai alat ukir pada PCB yang terletak pada Axis Z. *Layout* akan diukir pada PCB setelah *file layout* diubah dalam bentuk file .ngc menggunakan aplikasi inkscape dan diupload pada aplikasi CNC sehingga pengontrolan mesin CNC pada proses baik sebelum dan akan dioperasikan.[6]

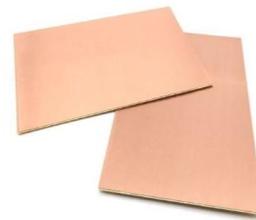
Pada penelitian di atas PCB yang di buat masih memisahkan antara jalur dengan tembaga yang tidak di pakai, jadi tembaga yang terpakai tidak terbuang. Pada

penelitian ini mesin pembuat PCB akan membuang tembaga yang tidak terpakai sehingga tinggal jalur rangkaiannya saja. Alat ini akan membuat desain jalur PCB secara otomatis dengan menggunakan Mata bor yang berbeda karena pada desain jalur PCB akan di ukir rangkaiannya saja dan tembaga yang tidak di butuhkan akan di buang sehingga bisa mendapatkan hasil yang lebih maksimal, alat ini juga di legakapi dengan pengeborannya sehingga dalam pembuatan rangkaian elektronika semakin efisien. untuk penggerak alat ini menggunakan 3 sumbu yaitu sumbu X,Y,dan Z. pengontrol alat ini menggunakan mikrokontroler sebagai kendalinya.

II. TEORI PENUNJANG

A. PCB (*Printed Circuit Board*)

PCB adalah sebuah papan yang penuh dengan sirkuit dari logam yang menghubungkan komponen elektronik satu dengan lainnya tanpa menggunakan kabel.[9] PCB (*Printed Circuit Board*) merupakan suatu instrument penting dalam dunia rancang bangun rangkaian elektronika dimana kumpulan beberapa komponen elektronika yang dapat menjalankan suatu sistem tertentu terdapat didalamnya.[5]



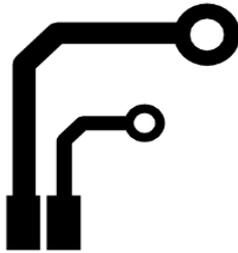
Gambar 1. Plat PCB

B. CNC (*Computer Numerical Control*)

Komputer Numerically Controlled (CNC) adalah singkatan dari komputer numerically controlled. Sistem Numerically Controlled (NC) pertama kali muncul pada akhir tahun 1940-an dan awal tahun 1950-an, ditemukan oleh John T.Parsons dengan perusahaan Servo Mechanical MIT. Sistem NC pada awalnya menggunakan jenis perangkat keras (hardware) NC dan komputer yang digunakan sebagai alat untuk mengedit. Pada awalnya, mesin CNC menggunakan kertas berlubang.Saat ini, mesin CNC berkembang dengan sangat cepat dan menjadi pilihan utama bagi industri pabrik yang sebelumnya menggunakannya. [7]

Mesin numerik komputer (CNC) digunakan dalam manufaktur dan menggunakan komputer untuk mengontrol mesin perkakas. Dalam hal ini, mesin perkakas konvensional dilengkapi dengan motor yang akan menggerakkan pengontrol sesuai dengan lokasi yang dimasukkan ke dalam sistem. Mesin CNC terdiri dari motor stepper dan pengontrol, dan G-Code terdiri dari perintah koordinat untuk sumbu, seperti X, Y, dan Z. Mesin CNC saat ini sangat terkait dengan program CAD dan dibangun untuk menangani tantangan di dunia manufaktur modern. Mesin CNC dapat memproduksi produk masal dengan hasil

termasuk diameter mata pisau CNC, bor, dan mata cutting, serta kecepatan gerakan selama proses hingga tingkat garis ukir di sisi gambar. [12]

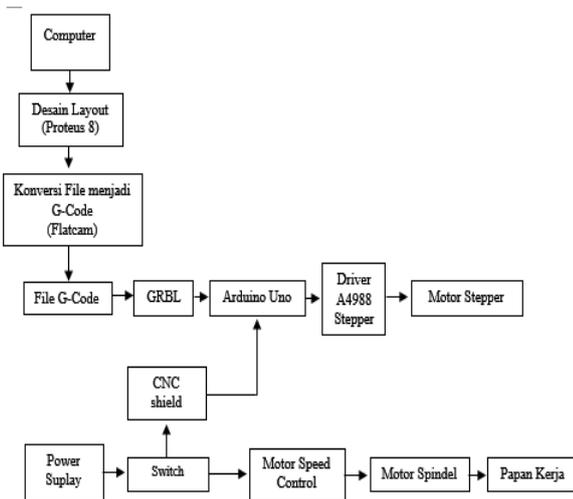


Gambar 6. Flatcam

III. PERANCANGAN SISTEM

Cara kerja sitem ini untuk membuat jalur rangkaian pada PCB dan untuk membuat lubang pada kaki komponen dengan menggunakan motor spindle yang dilengkapi mata bor Endmill carbide 60⁰ 3F untuk pengukiran layout dan mata bor Micro Drill PCB Baja Tungsten 0,1-1mm.

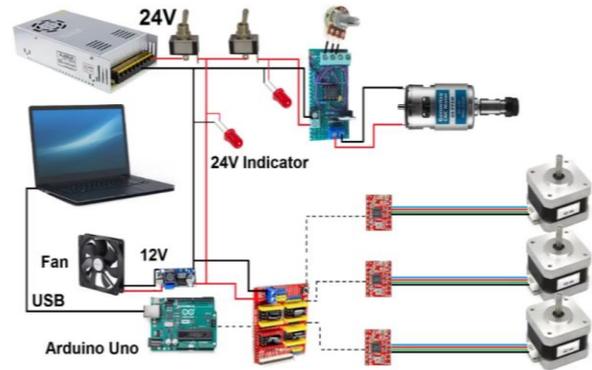
A. Diagram Blok sistem



Gambar 7. Diagram Blok Sistem

Pada gambar 8 blok diagram tersebut untuk mendesain rangkaian dan desain layout menggunakan proteus 8, untuk penyimpanan file pengukiran dalam bentuk gerber, sedangkan pengeboran bentuk dril, kemudian file tersebut di konversi ke G-Code menggunakan aplikasi Flatcam, file G-Code di jalankan menggunakan GRBL dan di kirim ke arduino. Arduino sebagai penerima perintah dari GRBL dan mengirimkan perintah ke cnc shile untuk mengatur setiap pergerakan ke tiga motor *Stepper* dan motor *Spindel*. Motor *Stepper* di sini berfungsi sebagai penggerak sumbu X,Y, dan Z. CNC shield berfungsi untuk menggerakkan motor *Stepper* atas perintah yang di kirim oleh arduino. Motor *Spindel* untuk mengukir PCB pada papan kerja dengan mata Bor yang sesuai dengan rangkaian yang sudah di buat sebelumnya. Motor *Speed Control* berfungsi untuk mengontrol kecepatan motor *Spindel*, sehingga kita dapat mengatur kecepatan motor *Spindel* sesuai keinginan kita.

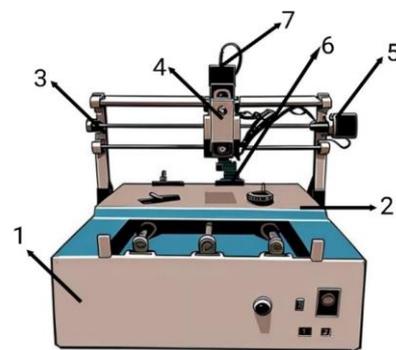
B. Rancangan Sistem Elektronika



Gambar 8. Rancangan Sistem Elektronika

Sistem rangkaian elektronik pada mesin *Desain layout PCB* dan *Pengplikasian Bor* otomatis yang terdiri dari beberapa komponen utama dan beberapa komponen tambahan. Komponen utama yaitu Arduino sebagai pengirim perintah dari semua pergerakan mesin, tiga motor *Stepper*, motor *Spindel* sebagai penggerak mata bor, *power supply* 24v sebagai sumber tegangan, dan *CNC Shield* sebagai penggerak motor stepper. Driver A4988 Stepper untuk memnentukan setiap langkah pergerakan motor. Adapun beberapa komponen tambahan berupa kipas pendingin DC sebagai pendingi komponen, modul *step down* LM 2596 untuk menurunkan daya DC sesuai perangkat penerimanya.

C. Rancangan Perangkat Keras



Gambar 9. Desain Mekanik

Keterangan gambar mekanik:

1. Box Rangkaian
2. Papan Kerja
3. Rangka
4. Rangka Motor *Spindel*
5. Motor *Stepper* X
6. Motor *Stepper* Y
7. Motor *Stepper* Z

Tabel 1. Spesifikasi Mesin

Spesifikasi Mesin	
Karangka Umum	Size 40cm x 33cm x 32cm
Karangka besi	V slot aluminium 20mm x 20mm
Karangka box	Akrilik 40cm x 33cm x 10cm
Papan Kerja	31 cm x 18 cm
Sistem penggerak	3 Motor stepper nema 17
Motor stepper	Steep angle : 1.8 degree, unipolar 200 step/rotasi
Motor spindel	775 spindle motor (12-36V) 24V :7000r/min, 36V : 9000r/min
Leadscrew	Diameter 8mm, Pitch 2mm, 2-start
Shaft atau as polos	Diameter 10mm untuk Axis X dan Y, 8mm untuk Axis Z
Mikrokontroler	Arduino Uno berbasis Atmega328
Driver motor stepper	Driver A4988
Power suplay	Kapasitas 24V 5A
Shaf holder	EELIC SHH-B0421 SK10, besi ball bearing 10mm
Nut housing leadscrew	T8, 2 Start diameter 8mm pitch 2
Zinc allow pillow block	KP08 8mm

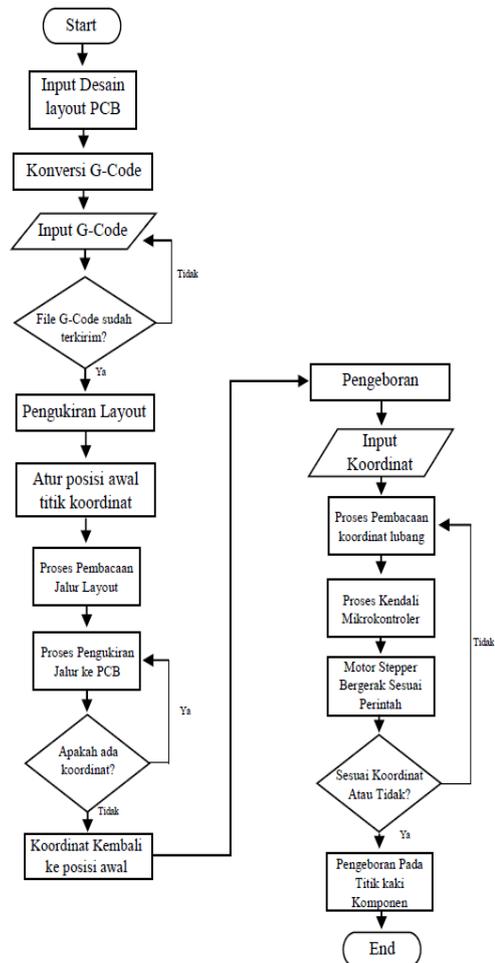
Pada perancangan mesin *Desain Layout* pcb dan pengaplikasian bor otomatis dengan sistem CNC (*Computer Numeircal Control*) menggunakan kontrol GRBL. Adapun beberapa komponen yaitu motor Stepper nema 17 sebagai penggerak mesin yang berfungsi sebagai X,Y, dan Z. pada sumbu X menggerakkan motor ke kanan dan ke kiri, sumbu Y menggerakkan motor ke depan dan ke belakang, sedangkan sumbu Z menggerakkan motor ke atas dan ke bawah. Arduino Uno sebagai penerima sinyal G-code dan mengirimkan sinyal ke motor stepper. Motor spindel yang berfungsi sebagai pengukir dan pengebor PCB yang di gerakan oleh 3 motor stepper 17. Cnc Shield dan driver A4988 Stepper sebagai penerima sinyal yang kirim arduino dan menggerakkan motor stepper sesuai sinyal yang dikirim oleh arduino. Motor speed control sebagai pengatur kecepatan motor spindel, switch sebagai on-off alat, led sebagai indikator, power adaptor 24V sebagai pensuplay tegangan sebesar 24v, modul step down LM2596 sebagai penurun tegangan dari 24 volt ke 12 volt, potensio meter sebagai pengatur kecepatan motor spindel, kipas 12 volt sebagai pendingin komponen di dalam box.

D. Rancangan perangkat lunak

Pada penggunaan mesin ini membutuhkan beberapa software untuk menjalankan mesin ini secara maksimal. Perangkat lunak merupakan aplikasi atau software yang digunakan untuk memprogram dan mengontrol proses jalannya mesin dalam mengerjakan suatu tugas. Perangkat lunak akan menunjang semua proses yang dilakukan oleh mesin. Software yang digunakan yaitu

arduino IDE untuk memasukkan program GRBL ke Arduino Uno, untuk membuat rangkaian dan membuat layout menggunakan software proteus 8, bentuk file yang dihasilkan pada proteus 8 yaitu file Gerber untuk (pengukiran) dan file Excellon untuk (pengeboran), dalam memproses mesin membutuhkan file G-code untuk menjalankan mesin pada GRBL maka di butuhkan software untuk mengubah file menjadi G-code yaitu Flatcam. Software GRBL untuk memproses file G-code untuk mengirim perintah ke Arduino untuk menjalankan motor stepper X,Y, dan Z.

E. Flowchart System



Gambar 10. Flowchart System

Berdasarkan gambar 11 *flowchart System* di atas dapat kita lihat bahwa proses yang pertama yaitu mendesain skematik rangkaian *Layout PCB* dengan aplikasi proteus dan di jadikan file Gerber , kemudian di konversi dari menjadi file G-code. Ada dua proses yaitu *Pengukiran Layout* dan pengeboran.

Pertama mengukir *Layout PCB*, maka atur posisi awal titik koordinat, kemudian proses pembacaan gambar yang sudah di kirim ke mikrokontroler dalam bentuk file G-code, pada proses pengukiran layout mikrokontroler mengirim perintah ke setiap motor *Stepper* melalui CNC shile dan

setiap motor akan berjalan sesuai rule masing-masing secara otomatis, motor *Spindel* sebagai mengkir jalur layout yang mengikuti arah motor *Stepper*, jika masih ada titik koordinat maka proses pengukiran tetap berjalan jika tidak ada maka proses selesai dan motor kembali ke titik koordinat awal.

Kedua yaitu pengeboran pertama penginputan koordinat lubang pada *Layout PCB* yang telah dibuat. Penginputan ini dilakukan dengan cara mengonversikan desain layout PCB yang telah dibuat kedalam bentuk bahasa pemrograman g-code. Hal ini dilakukan agar koordinat lubang dapat terbaca oleh mesin CNC. Kemudian data koordinat lubang akan dikirimkan ke mikrokontroler untuk dibaca dan diolah. mikrokontroler akan mengirimkan perintah kepada tiap motor *Stepper* melalui cnc shile. Setiap motor akan bekerja sesuai dengan arah yang telah ditentukan secara otomatis.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil penelitian yang telah di lakukan yaitu berupa perancangan alat untuk pengukiran dan pengeboran PCB secara otomatis menggunakan Aplikasi GRBL. perancangan ini telah di lakukan pengujian system secara keseluruhan dari proses pengoprasian sampai memperoleh suatu benda berupa hasil pengukiran dan pengeboran pada PCB.



Gambar 11. Hasil perancangan alat

Pada pengujian mengukir dan mengebor layort PCB dilakukan percobaan dengan ukuran dan rangkaian yang berbeda-beda. Dalam perhitungan tersebut dilakukan uji coba untuk menentukan kepresisian hasil ukiran dan pengeboran dengan desain yang telah dibuat. PCB yang digunakan dalam pengujian memiliki ketebalan 2mm. Selisih ukuran desain dengan ukuran hasil di tentukan oleh rumus berikut :

$$Error = \frac{\text{Dimensi Hasil} - \text{dimensi Desain}}{\text{Dimensi Desain}} \times 100\%$$

A. Kalibrasi Motor Stepper

Pada kalibrasi ini di lakukan perhitungan bagaimana cara menentukan pergerakan putaran motor memiliki tingkat akurasi 1mm. adapun persamaan untuk menghitung nilai sebagai berikut :

$$S_m = \frac{S_{rev} \times f_m}{p \times N_t}$$

Dimana :

S_m = stepper millimeter

S_{rev} = jumlah step per putaran

f_m = microstep factor

p = pitch pada leadcrew

N_t = jumlah pitch dalam satu start

Dari persamaan tersebut di lakukan perhitungan untuk menentukan pergerakan motor agar menghasilkan 1 mm pada setiap stepnya. Driver motor yang digunakan yaitu A4988 dengan pengaturan mikrostep yang digunakan yaitu 16, Leadscrew yang digunakan pada mesin memiliki jenis T8 yang memiliki diameter 8mm, pitch 2mm dengan 2 start. Motor stepper yang digunakan yaitu Nema17 yang memiliki derajat sebesar 1.8° untuk 360° derajat. Sehingga diperoleh perhitungan sebagai berikut.

$$S_{rev} = \frac{360^\circ}{1.8^\circ} = 200$$

Jadi, untuk menentukan nilai mm per step dapat di hitung dengan persamaan di atas yaitu sebagai berikut :

$$S_m = \frac{S_{rev} \times f_m}{p \times N_t} = \frac{200 \times 16}{2 \times 2} = \frac{3.200}{4} = 800 \text{ Step}$$

jadi nilai yang akan digunakan untuk kalibrasi pada nilai yang menghasilkan jarak 1mm pada setiap step-nya yaitu sebesar 800.

Setiap percobaan pasti tidak akan jauh dari yang namanya *Error*, Untuk menghitung error pada motor stepper NEMA 17, bisa menggunakan rumus berikut :

$$Error = \frac{(\text{Target Distance} - \text{Actual Distance})}{\text{Target Distance}} \times \text{Step Count}$$

Misal, dalam kasus dengan 800 Step menghasilkan langkah 1 mm, pada percobaan ingin menjalankan 5 mm tetapi mendapatkan 10 mm, maka kita bisa pakai rumus di atas agar bisa mengetahui tingkat Error pada motor Stepper, rumusnya akan menjadi :

$$Error = \frac{5 - 10}{5} \times 800$$

$$Error = - 800$$

Berdasarkan perhitungan di atas kita mendapatkan kesalahan sebesar -800 langkah pada motor stepper. Untuk menyesuaikan pengaturan motor stepper agar menghasilkan 1 mm, dapat menggunakan rumus berikut :

$$\text{New Step Count} = \frac{(\text{Target Distance} \times \text{Current Step Count})}{\text{Distance Results}} \times \text{Initial Distance}$$

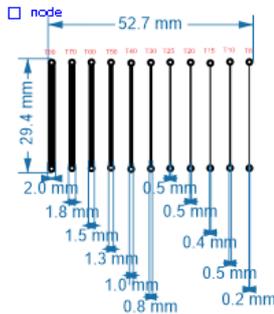
Dalam kasus ini, dengan 800 step menghasilkan 1 mm, dan yang kita inginkan yaitu 5 mm dalam 800 step, hasil

yang di dapat yaitu 10 mm maka kita bisa atur kembali langkah pada motor stepper agar menghasilkan 1mm yaitu :

$$New\ Step\ Count = \frac{1 \times 800}{10} \times 5 = 400\ step$$

Pada perhitungan di atas menghasilkan *New Step Count* 400 *Step* untuk menghasilkan 1 mm.

B. Uji Pengukuran ketebalan Layout



Gambar 12. Ukuran ketebalan layout pada proteus

Pada pengujian kepresisian hasil pengukuran ketebalan layout yang ada pada proteus dengan jarak pengukuran 0.4 mm dan menggunakan mata bor Chamfer endmill 3F 60 derajat lurus V bit Hasil pengujian ada pada table 4.3 dibawah ini :

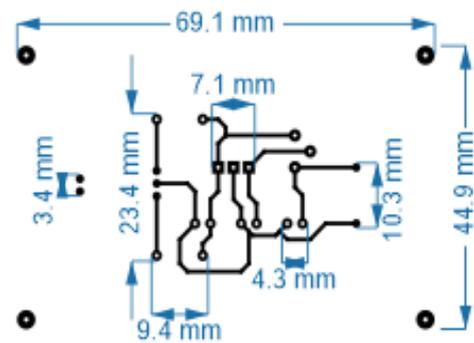
Tabel 2. Pengujian ukir ketebalan layout

No.	Gambar Hasil	Dimensi Desain (mm)	Dimensi Hasil (mm)	Presentase error
1.	 T8	0.2	0.1	-0.005%
2.	 T15	0.4	0.3	-0.003%
3.	 T25	0.5	0.4	-0.002%
4.	 T30	0.7	0.6	-0.002%
5.	 T40	1	1	0%

Pada percobaan pengukuran layout T8 dengan ketebalan 0,2 mm yang didesain menggunakan software Proteus 8,

hasil pengukuran pada PCB menunjukkan ketebalan 0,1 mm dengan *persentase error* sebesar -0,005%. Ketebalan T8 pada Proteus 8 tidak cocok untuk pengukuran pada alat ini karena layout yang dihasilkan putus dan tidak dapat digunakan. Untuk T15 dengan ketebalan 0,4 mm, hasil pengukuran menunjukkan ketebalan 0,3 mm dengan *persentase error* sebesar -0,003%. Untuk T25 dengan ketebalan 0,5 mm, hasil pengukuran menunjukkan ketebalan 0,4 mm dengan *persentase error* sebesar -0,002%. Ketebalan T25 pada Proteus 8 cocok untuk pengukuran pada alat ini. Untuk T30 dengan ketebalan 0,7 mm, hasil pengukuran menunjukkan ketebalan 0,6 mm dengan *persentase error* sebesar -0,002%. Untuk T40 dengan ketebalan 1 mm, hasil pengukuran menunjukkan ketebalan yang sama, yaitu 1 mm, dengan *persentase error* 0%. Ketebalan T40 dan seterusnya pada Proteus 8 cocok untuk pengukuran pada alat ini. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa ketebalan layout yang lebih kecil dari 0,5 mm cenderung mengalami error yang signifikan dan tidak dapat digunakan, sedangkan ketebalan 0,5 mm ke atas lebih akurat dan dapat digunakan untuk pengukuran pada alat ini. Hasil percobaan menunjukkan bahwa semakin tipis layout yang didesain, semakin besar kemungkinan terjadinya error dalam pengukuran pada PCB. Ketebalan layout yang terlalu tipis tidak mampu menghasilkan jalur yang sempurna dan cenderung putus, sehingga tidak dapat digunakan. Layout dengan ketebalan 0,5 mm ke atas menunjukkan hasil yang lebih akurat dan layak digunakan. Untuk memastikan hasil pengukuran PCB yang akurat dan dapat digunakan, disarankan untuk menggunakan layout dengan ketebalan minimal 0,5 mm saat mendesain pada software Proteus 8. Layout dengan ketebalan di bawah 0,5 mm cenderung tidak akurat dan tidak cocok untuk pengukuran pada alat ini.

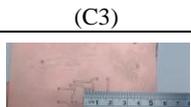
C. Uji Pengukuran rangkaian tidak menggunakan IC (*Integrated Circuit*)



Gambar 13. Ukuran Rangkaian tanpa IC

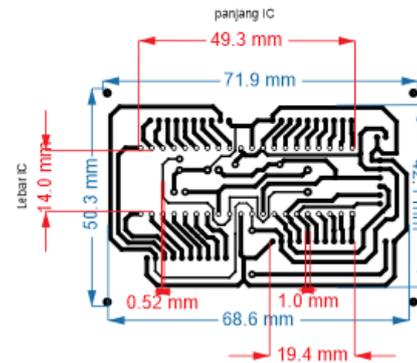
Pada percobaan ini yaitu menguji kepresisian hasil pengikiran tanpa IC dengan mengunkan ketebalan layout T25 yang ada pada proteus dengan jarak pengukuran 0.4 mm dan menggunakan mata bor Chamfer endmill 3F 60 derajat lurus V bit. Hasil pengujian ada pada table 4.5 dibawah ini:

Tabel 3. . Pengujian Ukir rangakian tidak menggunkan IC

No.	Gambar Hasil	Dimensi Desain (mm)	Dimensi Hasil (mm)	Presentase error
1.	 Panjang desain	69.1	69.1	0%
2.	 Lebar desain	44.9	44.8	- 0.00002 %
3.	 layout diode (D1)	9.4	9.4	0%
4.	 layout kapasitor (C3)	4.3	4.3	0%
5.	 layout transistor (U1)	7.1	7.1	0%

Pada hasil percobaan pengukuran panjang desain rangkaian dengan dimensi desain 69,1 mm dalam desain yang dibuat pada software Proteus 8, hasil pengukuran pada PCB menunjukkan panjang 69,1 mm dengan *persentase error* 0%. Pada percobaan pengukuran lebar desain rangkaian dengan dimensi 44,9 mm, hasil pengukuran menunjukkan lebar 44,8 mm dengan *persentase error* - 0,00002%. Pada pengukuran lebar layout rangkaian dengan dimensi 23,4 mm, hasil pengukuran menunjukkan lebar 23,3 mm dengan *persentase error* -0,00004%. Pada pengukuran lebar layout diode (D1) dengan dimensi 9,4 mm, hasil pengukuran menunjukkan lebar 9,4 mm dengan *persentase error* 0%. Pada pengukuran lebar layout kapasitor (C3) dengan dimensi 4,3 mm, hasil pengukuran menunjukkan lebar 4,3 mm dengan *persentase error* 0%. Pada pengukuran lebar layout transistor (U1) dengan dimensi 7,1 mm, hasil pengukuran menunjukkan lebar 7,1 mm dengan *persentase error* 0%. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa desain yang dibuat pada Proteus 8 secara umum menghasilkan pengukuran dengan tingkat akurasi yang sangat baik pada PCB, dengan *persentase error* yang sangat kecil atau nol. Layout dengan dimensi lebih besar cenderung memiliki *error* yang lebih rendah, sementara dimensi yang lebih kecil menunjukkan sedikit deviasi. Untuk memastikan hasil pengukuran PCB yang akurat dan sesuai dengan desain, software Proteus 8 dapat diandalkan dalam proses pengukuran berbagai komponen pada PCB.

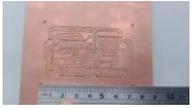
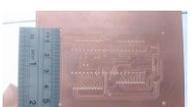
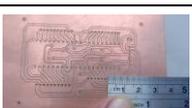
D. Uji Pengukuran rangkaian menggunakan IC (*Integrated Circuit*)



Gambar 14. Ukuran Rangkain menggunakan IC

Pada percobaan ini yaitu menguji kepresisian hasil pengukiraa rangkaian menggunakan IC dengan mengunkan ketebalan layout T20 dan T 40 yang ada pada proteus dengan jarak pengukuran 0.3.5 mm dan menggunakan mata bor Chamfer endmill 3F 60 derajat lurus V bit. Hasil pengujian ada pada table 4.6 dibawah ini:

Tabel 4. Pengujian Ukir rangakain menggunakan IC

No.	Gambar Hasil	Dimensi Desain (mm)	Dimensi Hasil (mm)	Presentase error
1.	 Panjang desain	71.9	71.8	- 0,00002%
2.	 Lebar desain	50.3	50.3	0%
3.	 Panjang IC	49.3	49.2	- 0,00002%
4.	 Lebar IC	14.0	14.0	0%
5.	 Panjang pin header	19.4	19.3	- 0,00005%

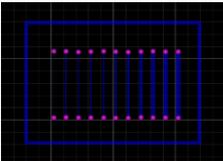
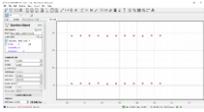
Pada hasil percobaan pengukuran panjang desain rangkaian dengan dimensi 71,9 mm dalam desain yang dibuat pada software Proteus 8, hasil pengukuran pada PCB

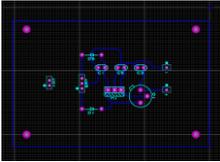
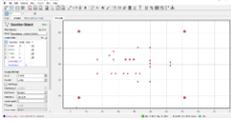
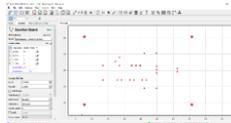
menunjukkan panjang 71,8 mm dengan persentase error - 0,00002%. Pada percobaan pengukuran lebar desain rangkaian dengan dimensi 50,3 mm, hasil pengukuran menunjukkan lebar 50,3 mm dengan persentase error 0%. Pada pengukuran panjang IC dengan dimensi 49,3 mm, hasil pengukuran menunjukkan panjang 49,2 mm dengan persentase error -0,00002%. Pada pengukuran lebar IC dengan dimensi 14,0 mm, hasil pengukuran menunjukkan lebar 14,0 mm dengan persentase error 0%. Pada pengukuran panjang pin header dengan dimensi 19,4 mm, hasil pengukuran menunjukkan panjang 19,3 mm dengan persentase error -0,00005%. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa desain yang dibuat pada Proteus 8 secara umum menghasilkan pengukuran dengan tingkat akurasi yang sangat baik pada PCB, dengan persentase error yang sangat kecil atau nol. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa perangkat lunak Proteus 8 dapat diandalkan untuk menghasilkan desain yang akurat pada PCB, baik untuk komponen dengan dimensi besar maupun kecil.

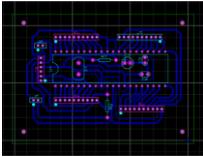
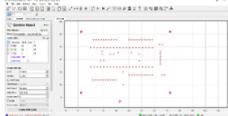
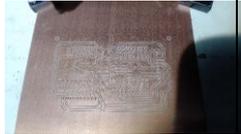
E. Pengujian pengeboran

Pada percobaan ini yaitu menguji kepresisian hasil pengeboran pada rangkaian yang sudah di buat di proteus 8. Mata bor yang di gunakan yaitu micro drill PCB mulai dari 0,3 mm sampai 2 mm . Hasil pengujian ada dibawah ini:

Tabel 5. Pengujian pengeboran

No	Gambar desain	Mata bor	Hasil pengeboran
		0.8	 Penentuan ukuran bor di flatcam
			 Pengoprasian GRBL waktu yang di hasilkan yaitu 01.52 menit
			 Hasil pengeboran

2		1.0	 Penentuan ukuran bor di flatcam
			 Pengoprasian GRBL waktu yang di hasilkan yaitu 00.26 detik
			 Hasil pengeboran
		0.8	 Penentuan ukuran bor di flatcam
			 Pengoprasian GRBL waktu yang di hasilkan yaitu 00.53 detik
			 Hasil pengeboran

3.		0.8	 Penentuan ukuran bor di flatcam	 Hasil pengeboran
		 Pengoprasian GRBL waktu yang di hasilkan yaitu 03.39 menit		
		 Penentuan ukuran bor di flatcam		
		 Pengoprasian GRBL waktu yang di hasilkan yaitu 00.47 detik		
		1.5	 Hasil pengeboran	

Pada tabel 5, hasil keseluruhan pengeboran rangkaian yang telah didesain pada Proteus 8 menunjukkan bahwa pengaturan FlatCAM Excellon object pada tool table sesuai dengan ukuran lubang pengeboran yang diperlukan oleh komponen rangkaian. Pengaturan create CNC job menggunakan cut Z (kedalaman sumbu Z) dengan kedalaman -5.0000, travel Z (ketinggian sumbu Z saat berpindah) dengan ketinggian 1.0000, end move Z (ketinggian sumbu Z saat berhenti/selesai) dengan ketinggian 25.0000, federate Z (kecepatan pergerakan sumbu Z saat berpindah) dengan kecepatan 300.0000, dan spindle speed (kecepatan motor spindle) dengan kecepatan 0 karena pada alat ini pengaturan kecepatan spindle dilakukan secara manual menggunakan potensiometer yang ada pada alat. Pergantian mata bor dapat disesuaikan saat mengatur pada tool table. Waktu pengeboran berbeda-beda tergantung pada jumlah lubang yang akan dibor; semakin sedikit lubang, semakin cepat pengeborannya, dan sebaliknya. Proses ini sangat efisien dan tidak menghabiskan tenaga dalam pengeboran layout PCB. Hasil ini menunjukkan bahwa pengaturan dan penggunaan software Proteus 8 serta FlatCAM sangat efektif dalam memastikan pengeboran yang akurat dan efisien, baik dari segi waktu maupun tenaga. Pengaturan pada FlatCAM dan penggunaan Proteus 8 memungkinkan proses pengeboran yang akurat dan sesuai dengan desain, dengan pengaturan manual pada spindle speed yang memberikan fleksibilitas. Efisiensi waktu dan tenaga tercapai dengan pengaturan yang tepat dan jumlah lubang yang dibor. Pengaturan CNC job pada FlatCAM dan desain pada Proteus 8 efektif dan efisien untuk pengeboran layout PCB. Proses ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan jumlah lubang, serta kecepatan spindle yang diatur secara manual, menjadikannya solusi yang fleksibel dan hemat tenaga.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil implementasi, pengujian, dan analisis pembuatan mesin pengukiran layout PCB serta pengeboran otomatis menggunakan metode CNC, dapat disimpulkan bahwa rancang bangun alat ini memiliki dimensi keseluruhan 40 cm x 33 cm dengan bidang kerja 31 cm x 18 cm yang mampu mengukir dan mengebor layout PCB secara cepat dan akurat. Pentingnya kalibrasi motor stepper untuk mencapai ketelitian 1 mm pada setiap langkahnya dengan total 800 step terbukti signifikan dalam pengaruhnya terhadap hasil akhir. Hasil pengujian menunjukkan kesalahan rata-rata pengukiran layout PCB sebesar -0,1 mm dengan presentase error -0,001%, yang terkait dengan ketidakrataan permukaan alas dimensi kerja dan kelengkungan sumbu Y pada stainless optical axis. Faktor lain yang berpengaruh adalah ketebalan layout, jarak antar layout, dan kedalaman sumbu Z. Penggunaan mata bor Endmill Carbide 600 3F memberikan kontribusi pada hasil pengukiran yang presisi. Selain itu, pengeboran layout PCB mencapai tingkat kesalahan 0 mm dengan presentase 0%. Saran untuk perbaikan meliputi pemantauan dan

penyesuaian kemiringan pemasangan pada sumbu X, Y, dan Z, khususnya pada bidang kerja sumbu Y agar sejajar, serta pemilihan mata bor dengan diameter maksimal 0,3 mm untuk hasil pengukiran yang lebih presisi.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Jufrizal, "RANCANG BANGUN MESIN CNC MILLING MENGGUNAKAN," vol. 4, no. 1, 2020.
- [2] M. R. Rajan, M. D. Syedibrakim, M. R. Alagu Selvam, and M. M. Yamuna, "Automatic Pcb Designer Based on Cnc System," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, 2019, [Online]. Available: www.irjet.net
- [3] T. J. Suteja, S. Candra, and Y. Aquarista, "Optimasi Proses Pemesinan Milling Fitur Pocket Material Baja Karbon Rendah Menggunakan Response Surface Methodology," pp. 1–7.
- [4] E. Satrio, K. Joni, and K. A. Wibisono, "Perancangan Sistem Kontrol CNC Pengebor PCB Otomatis Berbasis Raspberry PI," *Elektrika*, vol. 13, no. 1, p. 26, 2021, doi: 10.26623/elektrika.v13i1.3125.
- [5] T. Elektro, U. N. Surabaya, T. Elektro, and U. N. Surabaya, "RANCANG BANGUN MESIN PENGEBOR PCB MINI OTOMATIS BERBASIS ARDUINO UNO Mukhofidhoh Nur Kholis".
- [6] A. Gumelar, "Rancang Bangun Cnc (Computer Numerically Controlled) PCB Layout Berbasis Mikrokontroler P- ISSN : 2302-3295," vol. 8, no. 3, 2020.
- [7] Mulyadi, *BUKU AJAR : PEMROGRAMAN CNC*. Sidarjo: UMSIDA PRESS, 2017.
- [8] I. Pranata and S. Nuryadi, "MENGGUNAKAN METODE CNC (Computer Numerical Control)".
- [9] A. R. Sonawane, A. B. Rane, and D. S. S. Sudhakar, "DEVELOPMENT OF A3-AXIS CNC MILLING MACHINE WITH AN OPEN SOURCE CONTROLLER," no. 2015, pp. 9–15, 2017.
- [10] D. Sebagai, S. Dalam, R. Memenuhi, and P. Skripsi, "HALAMAN JUDUL RANCANG BANGUN MESIN CNC MILLING 5 AXIS BERBASIS MICROCONTROLLER MACH 3 BREAKOUT BOARD DAN MICROSTEP MOTOR DRIVER CONTROLLER SKRIPSI," 2020.
- [11] E. Projects, "Stm32f103 microcontroller controlling stepper motor by A4988 stepper motor driver module," engineersgarage.com.
- [12] T. Elektro, U. N. Surabaya, T. Elektro, and U. N. Surabaya, "RANCANG BANGUN MESIN PCB MILLING DENGAN KONFIGURASI KARTESIAN ROBOT 3 AKSIS Zulkarnain Bambang Suprianto," 2017.