

RANCANG BANGUN MESIN CNC MILLING 3-AXIS UNTUK ANGGRAVE PCB BERBASIS ARDUINO UNO

Muhammad Rizqi Aulia Hasibuan¹, Muhaimin², Supri Hardi³
^{1,2,3}Program Studi Teknologi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol
 Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe
 E-mail: riszqi1294@gmail.com

Abstrak— Pada proyek akhir ini, dirancang suatu alat CNC sederhana yang dapat digunakan untuk menggambar suatu pola gambar pada jalur PCB secara otomatis. Desain yang telah digambar melalui personal computer akan dikonversi dalam bentuk G-Code, dari data yang diterima oleh driver motor stepper, data digunakan sebagai penggerak motor stepper dan terbentuk pola pada bidang gambar sesuai desain. Mesin CNC adalah suatu mesin yang dikontrol oleh computer dengan menggunakan bahasa numerik (data perintah dengan kode angka, huruf dan simbol) sesuai standart ISO. Sistem kerja teknologi CNC ini akan lebih sinkron antara computer dan mekanik, sehingga bila dibandingkan dengan mesin perkakas yang sejenis, maka mesin perkakas CNC lebih teliti, lebih tepat, lebih fleksibel dan cocok untuk produksi massal. Dengan dirancangnya mesin perkakas CNC dapat menunjang produksi yang membutuhkan tingkat kerumitan yang tinggi dan dapat mengurangi campur tangan operator selama mesin beroperasi.

Kata Kunci : Mesin CNC, Mesin CNC Milling, CNC Plotter, Mini CNC, Arduino CNC.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomasi berbasis komputer pada mesin perkakas telah menghasilkan mesin perkakas yang mampu menangani berbagai pekerjaan yang rumit dalam jangka waktu kerja yang singkat. Penggunaan mesin perkakas untuk menangani pekerjaan seperti pembubutan, *frais/milling* (mesin perkakas dengan proses pengerjaannya dilakukan dengan cara penyayat dan proses pemakanan benda kerja secara horizontal) telah menghasilkan berbagai produk yang memiliki tingkat ketelitian yang tinggi, dimana pembuatan papan PCB (*printed circuit board*), sebelumnya dengan cara manual, perkembangan teknologi menciptakan mesin Anggrave PCB secara otomatis. dengan menggunakan mesin CNC engrave untuk memudahkan pengukiran jalur PCB dengan tingkat ketelitian yang tinggi.

Mesin CNC merupakan salah satu mesin perkakas yang dimiliki oleh beberapa kalangan industry manufaktur, mesin CNC yang telah digunakan pada berbagai keperluan untuk memproduksi suatu alat. Pengoperasian mesin CNC ini sangatlah sederhana yang dapat memproduksi alat dengan skala besar dan dapat memproduksi beberapa komponen secara massal.

Perkembangan mesin CNC saat ini merupakan pembaruan mesin perkakas yang telah ada sebelumnya yang kurang efektif dari segi waktu dan biaya. Pada dasarnya mesin CNC adalah salah satu sistem otomatisasi yang dikendalikan oleh computer dengan menggunakan bahasa numerik (angka dan huruf) untuk bergerak sesuai pola desain dan sistem mekanik mesin CNC untuk pengerjaan *anggrave* PCB, terdiri dari komponen-komponen utama seperti rangka, sistem panel kontrol *X-axis*, *Y-axis*, dan *Z-axis*. Konsep CNC yang akan dikembangkan pada penelitian ini merupakan lanjutan dari tinjauan lapangan untuk mengembangkan mesin CNC sehingga penerapannya menjadi lebih mudah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Mikrokontroler Arduino Uno R3

Mikrokontroler Arduino uno R3 adalah board berbasis mikrokontroler pada ATmega328 Board ini memiliki 14 digital input / output pin (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack listrik tombol reset. Pin-pin ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, hanya terhubung ke komputer dengan kabel USB atau sumber tegangan bisa didapat dari adaptor AC-DC atau baterai untuk menggunakannya. Gambar 1 menunjukkan bentuk Board Arduino Uno R3.



Gambar 1 Board Arduino Uno R3

Fitur fitur arduino uno R3 yaitu 1,0 pinout: tambah SDA dan SCL pin yang dekat ke pin aref dan dua pin baru lainnya ditempatkan dekat ke pin RESET, dengan IO REF yang memungkinkan sebagai *buffer* untuk beradaptasi dengan

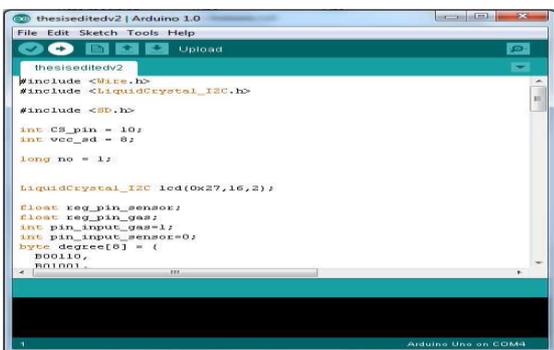
tegangan yang disediakan dari board sistem. Pengembangannya, sistem akan lebih kompatibel dengan *Prosesor* yang menggunakan AVR, yang beroperasi dengan 5V dan dengan Arduino Karena yang beroperasi dengan 3.3V. Yang kedua adalah pin tidak terhubung, yang disediakan untuk tujuan pengembangannya.

Arduino Uno dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal. Sumber listrik dipilih secara otomatis. Eksternal (non- USB) daya dapat datang baik dari AC-DC adaptor atau baterai. Adaptor ini dapat dihubungkan dengan cara menghubungkannya *plug* pusat-positif 2.1mm ke dalam board colokan listrik. Lead dari baterai dapat dimasukkan ke dalam *header* pin Gnd dan Vin dari konektor *Power. Board* dapat beroperasi pada pasokan daya dari 6 - 20 volt. Jika diberikan dengan kurang dari 7V, bagaimanapun, pin 5V dapat menyuplai kurang dari 5 volt dan *board* mungkin tidak stabil. Jika menggunakan lebih dari 12V, regulator tegangan bisa panas dan merusak *board*. Rentang yang dianjurkan adalah 7 - 12 volt. Pin catu daya adalah sebagai berikut:

- VIN. Tegangan input ke *board* Arduino ketika menggunakan sumber daya eksternal (sebagai lawan dari 5 volt dari koneksi USB atau sumber daya lainnya diatur). Anda dapat menyediakan tegangan melalui pin ini, atau, jika memasok tegangan melalui colokan listrik, mengaksesnya melalui pin ini.
- 5V. Catu daya diatur digunakan untuk daya mikrokontroler dan komponen lainnya di *board*. Hal ini dapat terjadi baik dari VIN melalui regulator onboard, atau diberikan oleh USB .
- 3,3 volt pasokan yang dihasilkan oleh regulator on-board. Menarik arus maksimum adalah 50 mA.
- GND

B. Perangkat Lunak (Arduino IDE)

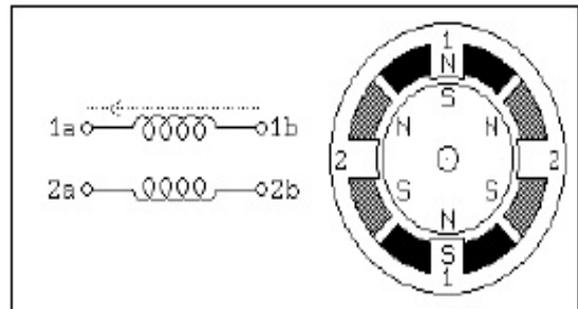
Lingkungan *open-source Arduino* memudahkan untuk menulis kode dan meng-*upload* ke *board Arduino*. Ini berjalan pada Windows, Mac OS X, dan Linux. Berdasarkan Pengolahan, *avr-gcc*, dan perangkat lunak sumber terbuka lainnya.



Gambar 2. Software IDE Programing Arduino Uno R3

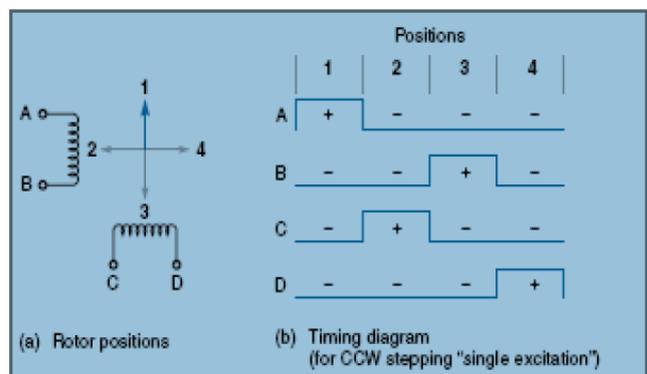
C. Motor Stepper Bipolar

Motor stepper unipolar terdiri dari dua lilitan yang memiliki center tap. Center tap dari masing masing lilitan ada yang berupa kabel terpisah ada juga yang sudah terhubung didalamnya sehingga center tap yang keluar hanya satu kabel. Untuk motor stepper yang center tapnya ada pada masing – masing lilitan kabel inputnya ada 6 kabel. Namun jika center tapnya sudah terhubung di dalam kabel inputnya hanya 5 kabel. Center tap dari motor stepper dapat dihubungkan ke pentanahan atau ada juga yang menghubungkannya ke +VCC hal ini sangat dipengaruhi oleh driver yang digunakan. Sebagai gambaran dapat dilihat konstruksi motor stepper unipolar pada gambar 3 berikut:



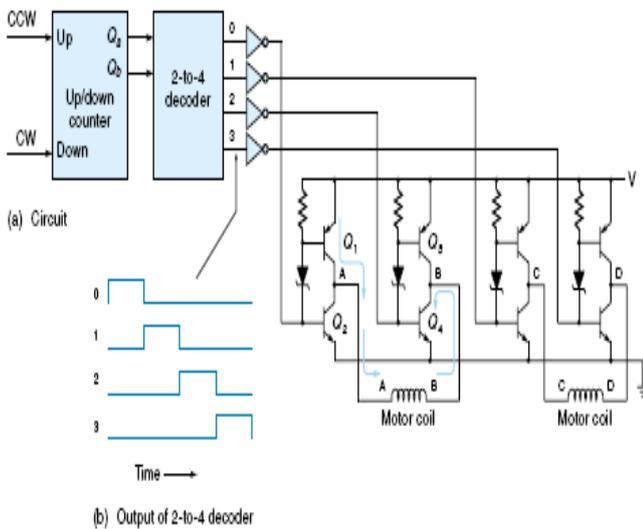
Gambar 3. konstruksi motor stepper bipolar

Pengontrolan motor stepper dua-phase (bipolar) memerlukan polaritas terbalik, sehingga membuat lebih rumit daripada pengontrol motor stepper empat-phase. Ada dua rangkaian yang disimbolkan dengan AB dan CD. Diagram pewaktuan (*timing diagram*) menunjukkan bentuk gelombang (*waveform*) yang diperlukan untuk A, B, C dan D (rotasi CCW). Dengan melihat posisi kolom 1 ke bawah A adalah positif dan B negatif, sehingga arus akan mengalir dari A ke B dalam rangkaian AB. Sementara itu C dan D keduanya negatif, yang secara efektif me-matikan rangkaian CD. Untuk posisi 2 pada *timing diagram*, C adalah positif, dan D negatif; yang menyebabkan arus mengalir dari C ke D dalam rangkaian CD sedangkan kumparan AB off/mati sempurna. Gambar 4 Menunjukkan Pulsa Untuk Motor Stepper 2 Fasa.



Gambar 4 Pulsa Untuk Motor Stepper 2 Fasa

Untuk posisi 3 dan 4 rangkaian kontroler berbasis mikroprosesor/mikrokontroler atau berupa rangkaian digital seperti yang ditunjukkan pada gambar 5 (a) dapat digunakan untuk membangkitkan bentuk gelombang pewaktu (timing waveform). Pencacah maju/mundur (*up/down counter*) 2-bit yang mencacah setiap pulsa yang diterima pada masukan naik (*up input*) dan mencacah turun untuk setiap pulsa yang diterima pada masukan turun (*down input*). Qa dan Qb dari pencacah maju/mundur didekoderkan pada *decoder* 2-ke-4. Sebagai pen-cacah adalah selalu berada pada salah satu dari empat keadaan (00, 01, 10, 11), satu (dan hanya satu) dari keluaran de-coder yang “high” pada satu waktu. Gambar 5(b) menunjukkan keluaran dekoder bila *counter* mencacah naik (hasil pulsa CCW dari kontroler).

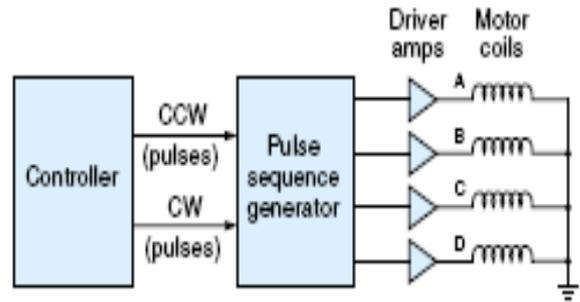


Gambar 5. Rangkaian Interface Untuk Motor Stepper 2 Fasa

D. Driver Motor

Driver motor merupakan sebuah komponen yang terdiri dari beberapa rangkaian untuk menggerakkan stepper motor, driver motor yang digunakan untuk menggerakkan motor stepper bervariasi tergantung pada motor stepper yang digunakan. Untuk menghubungkan motor stepper dengan piranti digital atau *I/O port* dibutuhkan rangkaian *interface*. Hal ini sangat penting karena jumlah arus yang diperlukan untuk memberikan energi (*energizing*) pada pasangan-pasangan kumparan lebih besar dari kemampuan *I/O port*, sehingga dibutuhkan sejumlah rangkaian penyangga (*buffer*) yang akan menguatkan arus untuk dapat menggerakkan motor stepper. Kontroler yang menentukan jumlah dan arah *step* yang akan diberikan (tergantung aplikasi). *Driver amplifier* memperbesar daya dari sinyal kemudi kumparan. Di sini tidak diperlukan rangkaian pengubah digital ke analog karena

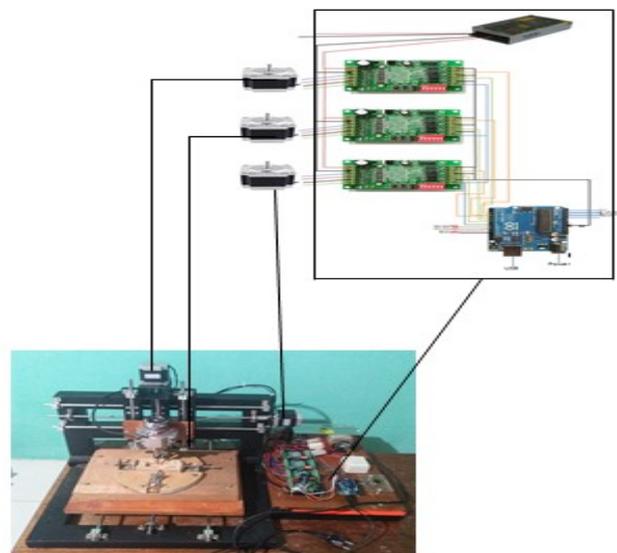
kutub-kutub medan adalah on atau off, *driver amplifier* efisien kelas C dapat digunakan.



Gambar 6. Diagram block driver motor stepper

E. Sistem Kontrol sumbu X, Y dan Z

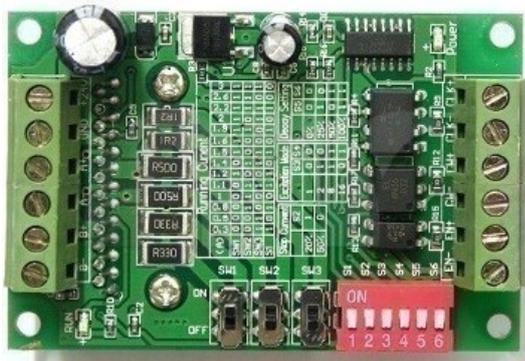
Perangkat keras sistem pengendali mesin CNC milling ini berupa mikrokontroler Arduino Uno R3 dan rangkaian elektronika yang terintegrasi untuk mengendalikan *motor stepper* yang masing-masing diperuntukkan untuk menggerakkan sumbu X, Y dan Z. Sistem Kontrol Sumbu X Y dan Z dapat dilihat pada gambar 7. Agar mikrokontroler mampu melakukan komputasi sesuai pola gambar benda kerja yang dibuat dengan perangkat lunak AutoCad Fusion 360 dibutuhkan suatu komunikasi USB dengan personal komputer. Pengiriman data atau sinyal dari personal komputer ke mikrokontroler diperlukan agar mikrokontroler mampu mengaktifkan *motor stepper* untuk menggerakkan sumbu X, Y dan Z bergerak ke posisi yang diperintahkan. Ketepatan pergerakan sumbu X, Y dan Z sangat ditentukan oleh pola gambar benda kerja dan hasil kompilasi yang dilakukan oleh G-code.



Gambar 7. Sistem Kontrol Sumbu X Y dan Z

F. Driver motor

Driver Motor merupakan komponen yang berfungsi untuk mengkomunikasikan controller dengan aktuator serta memperkuat sinyal keluaran dari kontroler sehingga dapat dibaca oleh aktuator. Dalam perancangan elemen kontrol ini *motor driver* yang akan digunakan adalah *Board TB6560* untuk mesin CNC milling 3-axis, seperti ditunjukkan pada gambar 8. Seperti halnya BOB (*Breakout Board*), *driver motor stepper* juga memiliki beberapa *Port* yang nantinya terhubung ke masing-masing *Port* seperti BOB *input signal*, *motor stepper*, *driver switch setting*, *DC power supply*.



Gambar 8. *Driver motorboard TB6560*

G. Motorstepper

Mesin CNC milling ini, menggunakan *motor stepper*, sebagai aktuator atau penggerak sumbu X, Y dan Z. Penentuan *motor stepper* didasarkan pada beban yang ditanggung oleh *motor stepper* dimana *motor stepper* menggerakkan sumbu X, Y dan Z, sehingga *motor stepper* tersebut dapat dikendalikan dengan cukup mudah dan memiliki ketelitian yang tinggi. Adapun motor yang digunakan pada mesin CNC milling ini adalah *motor stepper* jenis NEMA23 dengan Torsi 178.5 Oz-inch (1,26 Nm), maka dengan demikian telah sesuai untuk digunakan sebagai penggerak sumbu X, Y dan Z.



Gambar 9. *Motor stepper NEMA 23*

H. Power supply

Power Supply adalah perangkat yang berfungsi sebagai penyedia utama daya tegangan arus searah bagi *CNC milling* seperti untuk sumber daya *motor stepper* dan *spindle*. Fungsi dasar dari *power supply* adalah merubah tegangan arus bolak balik menjadi arus searah. Daya yang dihasilkan oleh *power supply* ini dijaga konstan agar memberikan suplai yang optimal bagi *motor* dan *spindle*. Adapun besarnya tegangan yang terdapat pada terminal *power supply* arus searah ini adalah 24 Volt dc 10 Ampere.



Gambar 10. *Power supply* arus searah 24 Volt dc 10 Ampere

I. Spindle

Spindle merupakan bagian dari mesin yang akan menjadi rumah *cutter*. *Spindle* inilah yang mengatur putaran dan pergerakan *cutter* pada sumbu Z. *Spindle* selanjutnya digerakkan oleh motor yang dilengkapi dengan sistem transmisi *belting* atau kopling. bentuk *spindle* yang digunakan dalam mesin CNC milling ini diperlihatkan pada Gambar 3.6. *Spindle* merupakan bagian yang sangat penting pada mesin CNC milling karena *Spindle* ini yang akan berkontak langsung dengan benda kerja. Dalam hal ini untuk perancangan mesin CNC maka *tool* yang akan digunakan adalah *Spindle Motor + ER11 Collet* dengan kecepatan putar 3.000-12.000 rpm dan daya sebesar 500 Watt.

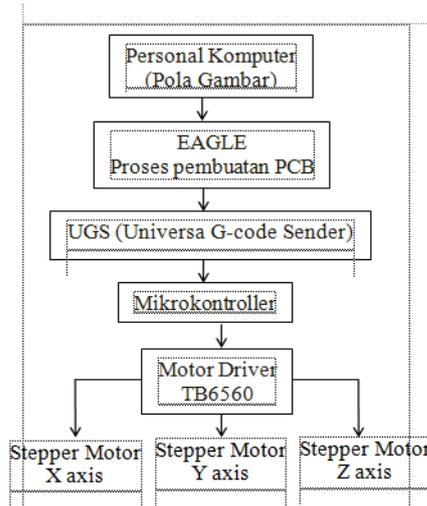


Gambar 11. *Spindle high speed brusher*

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Perancangan Mesin CNC Milling

Pelaksanaan perancangan mesin CNC milling dilakukan dalam beberapa proses. Keseluruhan proses saling terkait agar tujuan perancangan mesin CNC milling dapat tercapai.

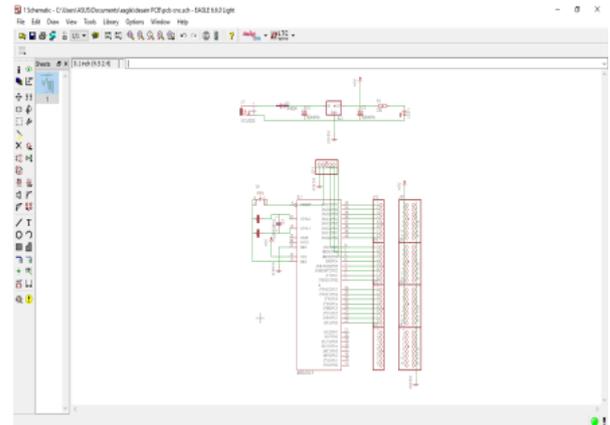


Gambar 12. Skema Proses Kerja Mesin CNC Milling

Dalam Tugas Akhir ini perancangan suatu produk benda kerja menggunakan program aplikasi Autodesk Fusion 360. Universal G-code sending berfungsi menterjemahkan pola gambar benda kerja ke baris data numerik, yang kemudian akan di transfer ke mikrokontroler Arduino Uno R3, kontrol utama untuk pergerakan sumbu X, Y dan Z. Pergerakan pada mesin CNC milling dari tiap-tiap sumbunya, bergerak berdasarkan koordinat atau disebut dengan sistem koordinat kartesian begitu juga untuk pergerakan Spindle.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada awalnya benda kerja didesain dengan bantuan perangkat lunak Eagle. Kemudian pola benda kerja itu disimulasi dengan menggunakan perangkat lunak Autodesk Fusion 360 untuk memastikan bahwa sistem koordinat pergerakan sumbu X, Y dan Z dapat dipastikan sesuai dengan mesin CNC milling. pada pengerjaan benda kerja pcb, mata pahat dipasang pada spindle yang memiliki sumbu putar tegak lurus terhadap permukaan benda kerja pada pengujian benda kerja dilakukan pada material PCB.



Gambar 13. Rangkaian Sistem Mikrokontroler AVR Atmega8535

A. Simulasi Eagle

Dari hasil simulasi yang dilakukan pada perangkat lunak Eagle maka dapat disimpulkan lamanya proses pengerjaan, kecepatan dan pemakanan pada benda kerja PCB.

Tabel 1. Hasil Simulasi Eagle

No	Unjuk Kerja Mesin CNC milling	Satuan
1	Spindle speed (rpm)	5000 rpm
2	Surface speed	62.8319 m/min
3	Ramp spindle speed (rpm)	5000 rpm
4	Cutting federate	80 mm/min
5	Feed/tooth	0.016 mm
6	Lead in feedrate	80 mm/min
7	Lead out feddrate	80 mm/min
8	Maximum step down	0.2 mm
9	Tolerance	0.02 mm
10	Tool offset	0 mm
11	Lamanya proses permesinan	00.30.27 min.s

Dari data Tabel 1 diatas maka dapat disimpulkan lamanya pekerjaan untuk benda kerja Pcb dengan dimensi benda kerja 11x20 cm dengan penyayatan sebesar 50x100x2 mm adalah 4 menit 27 detik untuk G-code yang dihasilkan pada simulasi benda kerja dengan menggunakan perangkat lunak Eagle. Simulasi frais bidang datar dilakukan pada Autodesk Fusion 360 hasil dari simulasi yang dilakukan pada perangkat lunak Autodesk Fusion 360 maka dapat disimpulkan lamanya proses pengerjaan kecepatan..

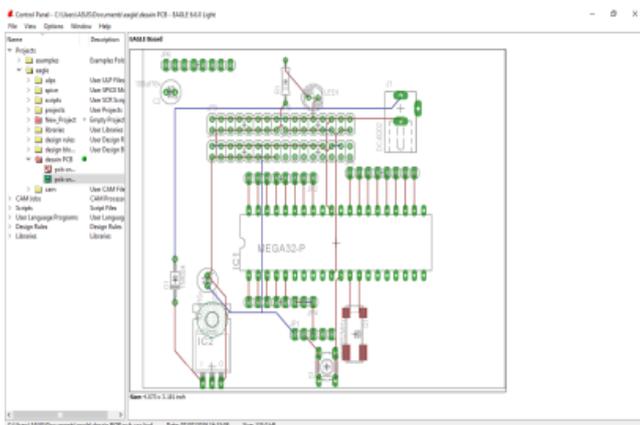
Tabel 2 Hasil Simulasi *Eagle* Pada PCB

No	Unjuk Kerja Mesin CNC milling	Satuan
1	Spindle speed (rpm)	5000 rpm
2	Surface speed	62,8319 m/min
3	Ramp spindle speed (rpm)	5000 rpm
4	Cutting federate	300 mm/min
5	Feed/tooth	0.02 mm
6	Lead in feederater	1000 mm/min
7	Lead out feddrate	1000 mm/min
8	Maximum step donw	0.4 mm
9	Tolerance	0.02 mm
10	Tool offset	0 mm
11	Lamanya proses permesinan	00.04.26 min/s

Dari data Tabel 2 di atas dapat disimpulkan bahwa dengan kecepatan gerak makan 300 mm/min, feed/tooth 0,02 mm dengan kecepatan spindle mata bor (single lift) 5000 rpm dan step down mata pahat 0,3 mm dapat dilakukan untuk dimensi benda kerja 50x100 mm dan ketebalan 10 mm dengan penyayatan yang di lakukan pada benda kerja 50x100 mm dan kedalamanya 2 mm. Maka dengan demikian bahwa lamanya proses pengerjaan ini adalah 4 menit 26 detik.

B. Simulasi Rangkaian PCB

Simulasi proses desain PCB dilakukan untuk pembuatan jalur terhadap benda kerja dengan ukuran yang berbeda, jalur yang akan dibuat pada benda kerja sesuai pola gambar yang akan dibuat. Proses pengujian pembuatan jalur ini dilakukan menggunakan mesin CNC milling pada benda kerja dimensi 11x20 cm dengan ketebalan 0,1 mm. dengan menggunakan perangkat lunak *Eagle*.



Gambar 15. Proses Simulasi Rangkain PCB

Hasil pengujian yang dilakukan pada perangkat lunak *Eagle* maka dapat disimpulkan lamanya proses unjuk kerja simulasi dan kecepatan,

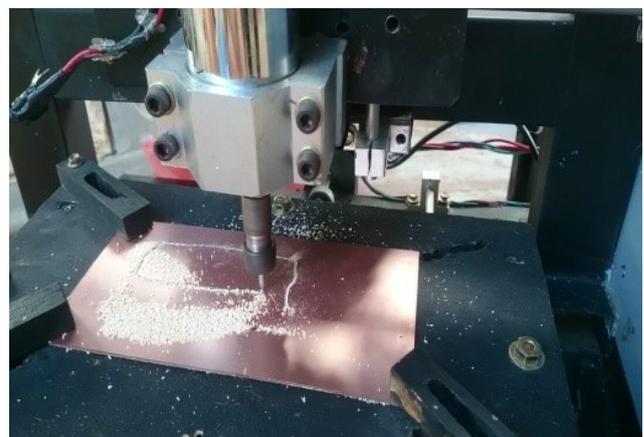
Tabel 3. Hasil Simulasi *Drilling* Pada Benda Kerja PCB

No	Unjuk Kerja Mesin CNC milling	Satuan
1	Spindle speed (rpm)	1000 rpm
2	Surface speed	12.5664 m/min
3	Ramp spindle speed (rpm)	1000 rpm
4	Cutting federate	100 mm/min
5	Feed/tooth	0.0333333 mm
6	Lead in feederater	1000 mm/min
7	Lead out feddrate	1000 mm/min
8	Maximum step donw	0.4 mm
9	Tolerance	0.02 mm
10	Tool offset	0 mm
11	Lamanya proses permesinan	00.04.27 min/s

Dari data Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa dengan kecepatan gerak makan 1000 mm/min, feed/0,0333333 mm/mm dengan kecepatan spindle mata pahat 1000 rpm dan step down mata pahat 0.1 mm dengan dimensi benda kerja 11x20 cm dan ketebalan 3 mm, bahwa lamanya proses pengerjaan pcb ini adalah 4 menit 27 detik. G-code yang dihasilkan oleh perangkat lunak *Eagle*.

C. Proses Pengerjaan Benda Kerja PCB

Proses pengerjaan bidang datar dilakukan pada material PCB dengan dimensi 10 cm x 20 cm dan ketebalan 1,6 mm. Pada pekerjaan bidang datar ini mata pahat yang digunakan memiliki diameter 1 mm dengan material mata bor *Single Left*.



Gambar 16. Proses pengerjaan pada PCB

Berdasarkan Tabel 4 bahwa PCB membutuhkan waktu penyelesaian kerja bidang datar untuk material PCB yaitu 4 menit 26 detik.

Tabel 4. Proses Pengerjaan Bidang Datar Pada Benda Kerja PCB

No	Unjuk Kerja Mesin CNC Milling	Satuan
1	Spindle speed (rpm)	5000 rpm
2	Surface speed	62.8319 m/min
3	Ramp spindle speed (rpm)	5000 rpm
4	Cutting federate	300 mm/min
5	Feed/tooth	0.02 mm
6	Lead in feedrater	1000 mm/min
7	Lead out feddrate	1000 mm/min
8	Maximum step donw	0.4 mm
9	Tolerance	0.02 mm
10	Tool offset	0 mm
11	Lamanya proses permesinan	00.04.26 min/s

D. Hasil Pengukuran Pergerakan Sumbu X, Y dan Z

Pengukuran pergerakan sumbu X Y dan Z dimaksudkan untuk mengetahui jarak pergerakan sumbu X, Y dan Z, akibat perubahan putaran motor stepper yang terjadi karena adanya masukan step pulsa oleh mikrokontroler ke driver motor stepper untuk menggerakkan sumbu X, Y dan Z. Berdasarkan data motor stepper, untuk sumbu X, Y dan Z, motor stepper yang digunakan adalah:

1. Sumbu X, motor stepper NEMA 23, tegangan 24 Vdc dan torsi 2,2 N.m.
2. Sumbu Y, motor stepper NEMA 23, tegangan 24 Vdc dan torsi 1.2 N.m.
3. Sumbu Z, motor stepper NEMA 23, tegangan 24 Vdc dan torsi 1.2 N.m.

E. Analisa Kecepatan Motor Stepper

Berdasarkan hasil pengukuran diketahui bahwa frekuensi kendali atau step pulsa yang diberikan oleh mikrokontroler adalah $f=10$ kHz. Maka kecepatan motor stepper dapat dihitung berdasarkan persamaan (1).

$$\omega = \frac{60}{N_p} pps = \frac{60 \cdot 10}{200} = 3 \text{ rpm}$$

Untuk menghitung jarak pergerakan sumbu (AXIS) X,Y atau Z, maka berdasarkan data motor stepper NEMA 23 yaitu :

- 1 Putaran penuh motor stepper menghasilkan 200 step
- 1 putaran penuh bergerak lurus sepanjang 2 mm
- 1 step = $1/200 \times 2 \text{ mm} = 0.01 \text{ mm}$.

Jika sumbu X digerakkan sepanjang 10 mm, maka motor setepper akan berputar :

$$\frac{10}{2} [\text{mm}] = 5 \text{ putaran}$$

Maka motor stepper akan bergerak :

$$\frac{10}{2} [\text{mm}] \times 200 [\text{step}] = 1000 \text{ step}$$

V. KESIMPULAN

Dari perancangan dan pembuatan mesin CNC milling ini, dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain adalah :

1. Desain gambar dilakukan pada perangkat lunak Eagle sebagai aplikasi simulasi dan penghasil baris data G-code.
2. Berdasarkan baris data G-code yang telah didapat dari Eagle selanjutnya dilakukan penyesuaian (adjustment) agar baris data dapat terbaca oleh mikrokontroler sehingga pergerakan sumbu X, y dan Z berjalan berdasarkan pola desain jalur PCB.
3. Telah diperoleh sebuah rancangan skematik system control mesin CNC yang mampu menggerakkan arah tiga sumbu X, Y, dan Z.
4. Berdasarkan bentuk rancangan yang telah dibuat, selanjutnya telah dirakit system control mesin CNC yang disusun oleh beberapa komponen seperti komputer, driver motor, motor stepper dan power supply.
5. Agar system control berjalan sebagaimana mestinya, digunakan system interface berbasis aplikasi program Universal G-code Sender (UGS).
6. Untuk menyesuaikan perangkat kontrol yang ada, selanjutnya dilakukan pengaturan port dan input sinyal pada interface, agar setiap perintah yang berasal dari personal computer dibaca dengan baik oleh aktuator.
7. Untuk menghindari kesalahan dalam pergerakan sumbu X, Y dan Z, telah dilakukan kalibrasi unit antara system interface dengan pergerakan mesin. Sehingga perintah dengan unit tertentu pada computer akan dieksekusi tepat pada mesin CNC milling.

Saran

Berdasarkan hasil pengujian untuk kerja mesin CNC milling ini masih memiliki kelemahan dan kekurangan untuk menjadi perbaikan dikemudian hari yaitu:

1. Kapasitas daya kerja motor spindle 450 Watt perlu diperbesar dayanya menjadi 1 kWatt, agar proses pemakanan benda kerja lebih cepat dan akurat.
2. Rel penempatan sumbu X, Y dan Z perlu dipilih dan ditentukan jenis rel yang spesifik agar tidak terjadi goncangan pada saat pekerjaan cutting dan facing

DAFTAR PUSTAKA

- Amal Aldianto, 2015. "*Prototype mesin CNC berbasis Arduino Uno dengan software GBRL controller*", Jurnal Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mercubuana, Jakarta.
- Beno Sutopo, 2006. "*Pembuatan benda kerja pada mesin Frais CNC TU 3A menggunakan software CNC Keller Q Plus berbasis software Autocad 2000*", Jurnal Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Pradana, Dityo Kurniawan, 2011. "*Rancang bangun CNC Milling Machine Home Made untuk membuat PCB*", Jurnal Jurusan Teknologi Elektro Universitas Gunadarma, Depok.
- Wahyu, A.N., 2015, "*Rancang bangun mesin pc basec CNC Milling tiga sumbu (system kontroler dan analisa torsi motor stepper)*", Tugas Akhir D-3, Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret, Surakarta.