

## RANCANG BANGUN CNC (*COMPUTER NUMERICAL CONTROL*) UNTUK PEMBUATAN PCB BERBASIS ARDUINO

Oleh : Supriyati<sup>1</sup>, Tulus Pramuji<sup>2</sup>, Imam Saputro<sup>3</sup>, Laily Retno Hidayati<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof Sudarto, S.H., Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia, 50275

Email : supriyati.polines@gmail.com<sup>1</sup>

### Abstrak

*Rancang Bangun Mesin CNC (Computer Numerical Control) Untuk Pembuatan PCB Berbasis Arduino merupakan dibuat dengan tujuan untuk mencetak PCB dengan proses pengerjaan cukup efisien dan dapat mengurangi penggunaan bahan kimia untuk mencetak PCB. Alat ini dirancang menggunakan sebuah sistem yang diproses melalui Arduino Uno dan menggunakan software flatcam dan juga candle sebagai user interface. Software tersebut berfungsi untuk mengubah file dengan format gerber dari software proteus menjadi file G-Code agar bisa dibaca oleh pemrosesnya. Pengujian dilakukan untuk mengetahui ketepatan gerak dari mesin CNC. Berdasarkan hasil pengujian yang diterima, software dapat mengirimkan file G-Code dengan baik. Ketepatan gerak dengan tingkat kesalahan rata-rata sebesar 0,86% pada sumbu X, sebesar 0,95% pada sumbu Y, dan 1,3% untuk sumbu Z.*

**Kata kunci :** CNC, PCB, Arduino Uno, Grbl, proteus, flatcam, candle

### Abstract

*Design and Build a CNC (Computer Numerical Control) Machine for Arduino-Based PCB Manufacturing is made with the aim of printing PCBs with a fairly efficient process and can reduce the use of chemicals to print PCBs. This tool is designed using a system that is processed through Arduino Uno and uses flatcam and candle software as the user interface. The software functions to convert files with the gerber format from proteus software into G-Code files so that they can be read by the processor. Tests are carried out to determine the accuracy of the motion of the CNC machine. Based on the test results received, the software can send the G-Code file properly. Motion accuracy with an average error rate of 0.86% on the X-axis, 0.95% on the Y-axis, and 1.3% for the Z-axis.*

**Keywords :** CNC, PCB, Arduino Uno, Grbl, proteus, flatcam, and candle.

## 1. Pendahuluan

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Pada zaman modern, banyak alat menggunakan perangkat elektronika agar dapat bekerja otomatis. Hal yang mendasar dalam rangkaian elektronika adalah PCB (*Printed Circuit Board*). PCB adalah sebuah papan yang dapat digunakan untuk membuat sebuah sirkuit elektronik dari logam yang nantinya akan menghubungkan komponen elektronika yang berbeda jenis maupun yang sejenis tanpa menggunakan kabel sebagai perantara aliran listrik. Papan tercetak ini sudah diproduksi secara massal dengan cara pencetakan untuk keperluan elektronika dan yang ada hubungannya dengan kelistrikan. PCB sebelum digunakan melalui proses pencetakan jalur sesuai

dengan rangkaian yang diinginkan, kemudian dilakukan proses pelarutan, dan dilanjutkan proses pelobangan untuk tempat komponen.

Selama ini mencetak PCB dirasa kurang efisien dikarenakan waktu yang dibutuhkan lama. Mahasiswa mengalami kendala dalam pembuatan layout PCB biasanya setelah mendesain *layout* dengan menggunakan aplikasi *Eagle* atau *Proteus* dilanjutkan proses penyablolan, yang dicetak pada kertas stiker atau foto terlebih dahulu, dan sulitnya menghilangkan tembaga dengan *ferrychloride* ( $\text{FeCl}_3$ ) dan hal tersebut juga kurang ramah lingkungan, kendala saat melakukan pengeboran PCB juga membutuhkan waktu yang cukup lama apalagi dalam suatu jalur kaki untuk

masing-masing komponen cukup banyak.

Oleh sebab itu dibuatlah alat untuk mencetak PCB dengan menggunakan mesin CNC (Computer Numerical Control) yang dampaknya dapat membuat lebih efisien dalam pengerjaannya, dimana dapat menghemat dari segi waktu dan kemudahan dalam mencetak PCB tersebut. Dikatakan sebagai CNC karena proses penggerakan dari mesin perkakas tersebut sepenuhnya digerakkan menggunakan komputer. Sebelum dapat diproses oleh CNC, komputer membutuhkan *G-code* agar *hardware* pada CNC dapat mengenali perintah yang diberikan oleh komputer melalui kode tersebut. Pemilihan mesin CNC ini dikarenakan oleh kemampuan dari sebuah mesin CNC untuk melakukan gerakan posisi koordinat mesin *point to point* yang membuat mesin CNC ini dapat bergerak dengan leluasa dan hampir tidak terbatas step-nya (Valentino & Goldenberg, 1993) Mesin CNC pada titik end point nya menggunakan end mill yang merupakan sebuah mata bor yang diputar dengan kecepatan sangat tinggi sehingga mesin CNC dapat membentuk suatu benda utuh atau bahan mentah menjadi objek atau produk yang diinginkan.

Alat ini menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontrolernya. Arduino merupakan open *platform* yang menggunakan C sebagai bahasa pemrogramannya. Selain itu Arduino memiliki banyak *open source* dan *library* yang dapat dimanfaatkan untuk membantu dalam membuat programnya.

### 1.2. Tinjauan Pustaka

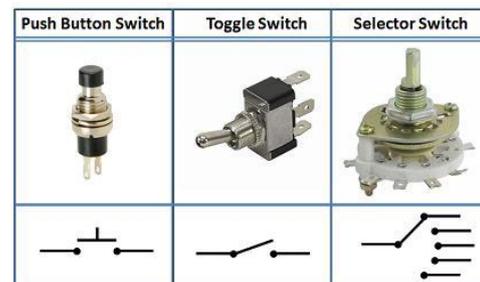
Penjelasan dan uraian teori penunjang yang digunakan dalam membuat alat ini diperlukan untuk mempermudah pemahaman tentang cara kerja rangkaian maupun dasar-dasar perencanaan pembuatan alat.

Pengertian *Computer Numerical Control* (CNC), atau Kontrol numerik atau pengaturan numerik (*numerical control* NC) adalah istilah yang digunakan untuk

menjelaskan kontrol gerakan mesin dan berbagai fungsi lainnya menggunakan instruksi yang dinyatakan dalam satu seri bilangan dan dikendalikan oleh sistem kontrol elektronika. Istilah *Computerized Numerical* Komponen utama yang digunakan dalam pembuatan alat, sebagai berikut :

#### 1) Switch

Switch (saklar tombol tekan) adalah perangkat yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran arus listrik dengan sistem kerja tekan unlock (tidak mengunci). Sistem kerja unlock disini berarti saklar akan bekerja sebagai device penghubung atau pemutus aliran arus listrik saat tombol ditekan, dan saat tombol tidak ditekan (dilepas), maka saklar akan kembali pada kondisi normal. Jenis *switch* ditunjukkan Gambar 1.

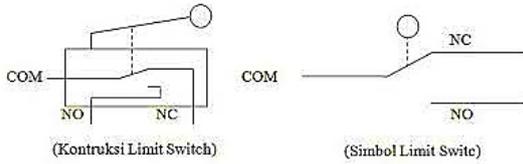


Gambar 1. Macam-macam Switch

#### 2) Limit Switch

Pengoperasian mesin secara otomatis memerlukan penggunaan saklar yang dapat diaktifkan oleh gerakan mesin. *Limit switch* digunakan untuk mengubah gerakan mekanis menjadi terhubung dan tidaknya sinyal listrik. *Limit switch* (saklar pembatas) yang bisa dilihat pada Gambar 2 adalah saklar atau perangkat elektromekanis yang mempunyai tuas aktuator sebagai pengubah posisi kontak terminal (dari *Normally Open* NO ke *Close* atau sebaliknya dari *Normally Close*/NC ke *open*). Posisi kontak akan berubah ketika tuas aktuator tersebut terdorong atau tertekan oleh suatu objek. Sama halnya dengan saklar pada umumnya, *limit switch* juga hanya

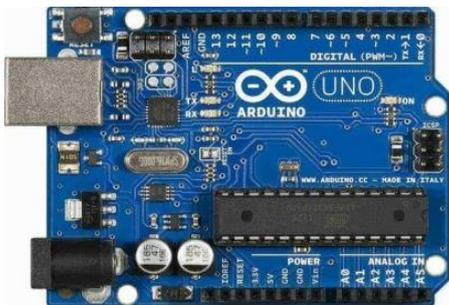
mempunyai dua kondisi, yaitu menghubungkan atau memutuskan aliran arus listrik. Dengan kata lain hanya mempunyai kondisi ON atau OFF.



Gambar 2. Limit switch dan simbol

### 3) Arduino Uno

Arduino adalah papan pengembangan berbasis mikrokontroler ATmega 328P-200PU. Seperti Gambar 3. papan ini memiliki 14 pin digital untuk berkomunikasi (I/O pins, input/output) dengan 6 pin diantaranya dapat memodulasi keluaran PWM (Pulse With Modulation, mensimulasikan keluaran analog), 6 masukan analog (didigitalisasi menggunakan ADC/ Analog to Digital Converter internal), osilator berkecepatan 16 MHz, sebuah konektor USB, colokan catu daya, ICSP header, dan tombol reset.



Gambar 3. Arduino Uno

### 4) Motor Stepper

*Motor stepper* atau kadang disebut motor step pada Gambar 4 merupakan jenis motor yang menyerupai motor servo karena posisi rotor bisa ditentukan, tetapi menggunakan pendekatan yang berbeda. *Motor stepper* bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan. Maka untuk menggerakkan *motor stepper* diperlukan pengendali *motor stepper* yang membangkitkan pulsa-

pulsa periodik.



Gambar 4. Motor Stepper

### 5) Driver Motor Stepper

*Motor stepper* bisa berputar dan berjalan dengan baik dan teratur tentunya tidak lepas dari kendali dari *driver motor A4988* seperti di Gambar 5. Fungsi dari *driver motor A4988* yakni sebagai pengontrol *motor stepper*. IC A4988 merupakan *driver microstepping* motor yang lengkap dengan built-in penerjemah untuk mengarahkan setiap motor stepper. Driver motor ini dapat mengontrol kerja motor stepper hanya dengan 2 pin dari kontroler, pin pertama untuk mengontrol arah putaran, pin kedua untuk mengontrol motor stepper.



Gambar 5. Driver motor A4988

Driver A4988 memiliki kapasitas tegangan output 35V dan arus sebesar 2A. Dapat beroperasi dengan motor *stepper bipolar* dengan step mode full step, 1/2 step, 1/4 step, 1/8 and 1/16 step

### 6) Motor DC

Motor DC merupakan suatu alat yang mengubah energi listrik searah menjadi energi mekanik putaran. Pada motor DC kumparan medan disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar).

## 2. Metode Penelitian

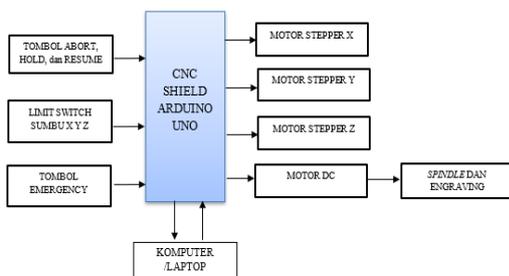
Metode penelitian berisi mengenai urutan kerja yang dijelaskan berikut ini:

### 2.1. Desain Perancangan Sistem

Rancang Bangun CNC (*Computer Numerical Control*) Untuk Pembuatan PCB berbasis Arduino terdiri dari tiga bagian utama yaitu masukan, proses menggunakan Arduino, dan keluaran. Masukan berupa tombol darurat, abort hold and resume, limit switch pada sumbu x,y,z sebagai batasan jarak maksimum yang dapat dicapai oleh mesin. Selain itu juga program yang dikirim dari komputer/laptop. Kemudian pada bagian keluaran ada tiga buah motor *stepper* jenis Nema 17 yang diatur oleh *driver* motor stepper A4988. Diagram blok terlihat di Gambar 6.

Perencanaan diagram blok merupakan tahap pertama dalam merancang dan menyusun rangkaian. Penjelasan mengenai keterangan dan fungsi dari diagram blok rangkaian pada Gambar 6 sebagai berikut :

- 1) Tombol *Abort* untuk menghentikan mesin pada saat berjalan dan memunculkan pemberitahuan alarm pada perangkat lunak.
- 2) Tombol *Hold* digunakan untuk menahan alat pada saat proses berjalan dan memunculkan pemberitahuan pada aplikasi yang digunakan.
- 3) Tombol *Resume* digunakan untuk melanjutkan kinerja alat apabila sebelumnya ditekan tombol *hold*.



Gambar 6 Gambar Diagram Blok

- 4) *Limit Switch* sebagai penanda batas

maksimum yang dicapai oleh mesin. Sehingga apabila *limit switch* tertekan maka mesin akan berhenti.

- 5) *Tombol Emergency* atau darurat yaitu untuk menghentikan seluruh kerja mesin tanpa mengeluarkan pemberitahuan alarm pada perangkat lunak..
- 6) Arduino Uno *CNC shield* merupakan sebuah papan untuk membantu mempermudah pemasangan input, output dan *driver* serta komponen lainnya.
- 7) Arduino Uno sebagai pusat pengolahan data dari komputer / laptop untuk mengatur masukan dan luaran dari alat.
- 8) Komputer/laptop sebagai perangkat untuk memasukkan file gambar yang akan didesain serta menjalankan aplikasi pembuatan.
- 9) *Driver* motor stepper sebagai penterjemah perintah dari arduino ke motor stepper untuk pengaturan tegangan dan arus.
- 10) Motor DC sebagai penggerak *Spindle* dan juga *engraving* saat pembuatan PCB.

### 2.2. Pembuatan Perangkat Keras

Pada tahap ini pembuatan rangka mesin yang terdiri dari rangka mesin utama, rangka tambahan, dan alas. Pada rangka mesin utama terdiri dari rangka yang menggerakkan sumbu x, y, dan z. Pada rangka tambahan merupakan rangka untuk panel elektronik termasuk catu daya *switching* dan rangka untuk penutup mesin, dan pada alas terdapat papan akrilik sebagai alas kerja mesin CNC.

### 2.3. Perancangan Perangkat Lunak

#### 2.3.1. Tahap mengkompilasi program untuk arduino

Program yang dibuat dari Gb1 menggunakan kompilasi dari CV AVR dan Arduino. Namun program yang digunakan untuk proses upload menggunakan pemrograman Arduino IDE. Untuk mengupload program dari komputer atau laptop dapat menggunakan metode

Arduino IDE. Metode ini mengkompilasi dari kode sumber menjadi kode hex dan secara otomatis mengunggahnya ke Arduino file .hex tidak bisa langsung dikompilasi melalui Arduino IDE.

**2.3.2. Desain Layout di Proteus**

Membuat Layout PCB harus teliti dalam membuat jalur *wire* yang menghubungkan antar kaki komponen satu dengan yang lainnya. Untuk mengatasi hal tersebut, dalam membuat layout PCB haruslah dengan cara yang benar serta harus mengikuti jalur yang telah dibuat dan disesuaikan dengan skema yang telah dibuat.

**2.3.3. File Gerber Menjadi G-Code Menggunakan Flatcam**

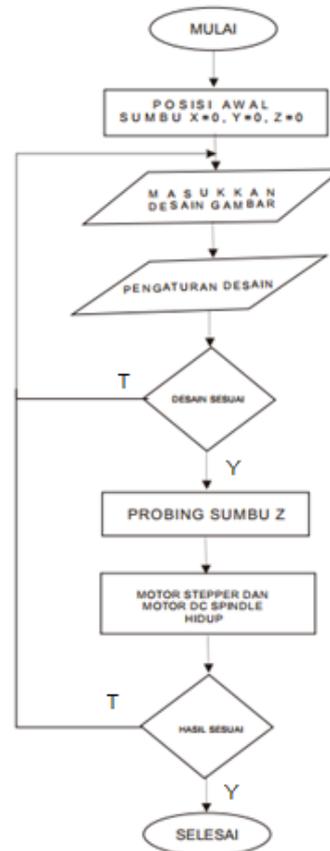
Flatcam adalah *software* yang digunakan untuk mengubah berbagai desain dan menghasilkan CNC router Gdesain PCB flatcam memanfaatkan file gerber, untuk menghasilkan G-code, yang mana G-code akan menggerakkan mesin CNC.

**2.3.4. Candle**

Candle merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk kontrol mesin CNC. Candle juga merupakan aplikasi pengontrol Grbl yang menggunakan G-Code. Dimana Grbl sendiri adalah sebuah *software* untuk mengontrol gerakan CNC yang dapat diunggah ke *library* arduino. Pada dasarnya Grbl adalah sebuah hex file yang dapat diunggah ke arduino agar arduino dapat membaca perintah dalam G- Code.

**2.3.5. Penyusunan Diagram Alir**

Diagram alir dibuat untuk mempermudah pembuatan keseluruhan, maka pertama yang dilakukan adalah membuat diagram alir. Dengan diagram alir, selain mempermudah pembuatan program juga dapat digunakan untuk melacak kesalahan proses pembuatan program. Diagram alir dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram Alir

**2.4. Hasil dan pembahasan**

Pada bagian ini dilakukan perbandingan terhadap kepresisian mesin yang telah dilakukan pada bagian sebelumnya. Data hasil kesalahan dari pembacaan dan pengukuran pergerakan mesin ditunjukkan dalam Tabel 1.

Pada bagian ini dilakukan perbandingan antara desain gambar pada *software* dengan hasil fisik setelah dilakukan proses *engraving*. Data hasil perbandingan ditunjukkan dalam Tabel 1..

Tabel 1. Pengukuran dan Presentase Kesalahan

No	Pengukuran Alat (cm)			Pergerakan Alat (cm)	Presentase Kesalahan (%)		
	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z		Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z
1	0,51	0,52	0,49	0,5	2	4	2
2	1,01	1	0,99	1	1	0	1
3	1,5	1,51	1,48	1,5	0	0,6	1,3
4	2	2	1,97	2	0	0	1,5
5	2,47	2,52	2,47	2,5	1,2	0,8	1,2
6	2,97	3,01	2,97	3	1	0,3	1
Rata-rata Kesalahan (%)					0,86	0,95	1,3



Gambar 8 Hasil Pengujian Sumbu X

Berdasarkan hasil cetak pada Gambar 8, bahwa hasil engraving menggunakan mata router berbentuk pisau sebesar 10<sup>0</sup> yang mempunyai ujung sebesar 0,1 mm dengan kecepatan motor DC sebesar 6000 RPM dan resolusi sumbu X sebesar 375.000 step/mm. Hasilnya bisa dilihat di Tabel 1, sumbu X memiliki rata-rata kesalahan sebesar 0,86%.



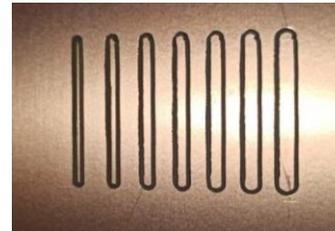
Gambar 9 Hasil Pengujian Sumbu Y

Berdasarkan hasil cetak pada Gambar 9, bahwa hasil engraving menggunakan mata router berbentuk pisau sebesar 10<sup>0</sup> yang mempunyai ujung sebesar 0,1 mm dengan kecepatan motor DC sebesar 6000 RPM dan resolusi sumbu Y sebesar 395.153 step/mm. Hasilnya bisa dilihat di Tabel 1, sumbu Y memiliki rata-rata kesalahan sebesar 0,95%.



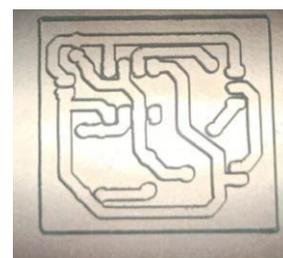
Gambar 10 Hasil Pengujian sumbu Z

Berdasarkan Tabel 1 terlihat jika sumbu Z memiliki presentase kesalahan yang lebih tinggi daripada sumbu X dan Y. Dikarenakan pada sumbu Z hasil yang diukur tidak bisa langsung dilihat dari gambar tetapi yang diukur yaitu pergerakan dari motor spindle yang bergerak naik turun seperti yang terlihat pada Gambar 10.



Gambar 11 Hasil engraving beda ketebalan jalur

Dari Gambar 11 dari urutan kiri ke kanan yaitu dengan ketebalan dari T10 sampai T70 yaitu jalur yang semakin ke kanan semakin besar, terlihat bahwa alat mampu mencetak jalur dengan ketebalan T10 yang kecil tapi dengan syarat menggunakan mata router sebesar 10 derajat, karena apabila menggunakan mata router yang lebih besar ditakutkan jalurnya akan terputus, biasanya yang digunakan untuk membuat PCB menggunakan jalur dengan ketebalan T40 ataupun T50.



Gambar 12 Hasil Proses Pembuatan

Berdasarkan Gambar 12 dapat dilihat bahwa gambar tersebut merupakan hasil akhir dari kerja alat ini. Jalur PCB yang bisa dilihat dari gambar tersebut menggunakan mata router sebesar 10 derajat, 0,01mm dengan menggunakan lebar jalur T50.

### 3. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil memprogram alat CNC (Computer Numerical Control) Untuk Pembuatan PCB Berbasis Arduino dengan menggunakan software Flatcam dan Candle yang mengubah berbagai desain PCB dalam file gerber dan Grbl yang menghasilkan G-Code untuk menggerakkan mesin CNC. Alat ini digunakan dalam pembuatan jalur tercetak PCB tanpa menggunakan bahan kimia, yaitu dengan cara engraving atau mengukir jalur PCB.

### DAFTAR PUSTAKA

- Agus Kharisma (“Pengertian Plotter – Teknik Informatika, 2012”), <https://pmktentangintelpentium.wordpress.com/plotter>.
- Ariyono, D., & Syafri, S. (2019). Pengembangan Dan Pembuatan Sistem Kontrol Prototipe Mesin Cnc Milling 3 Axis Berbasis Arduino Uno Dengan Sistem Loop Tertutup. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains*, 6, 1-6.
- Daryanto, Drs. 2021. *Teori dan Aplikasi Teknik Listrik*. Yogyakarta : Gaya Media Hal : 234-236.
- Fitriani, Y., Pakpahan, R., & Asyirri, A. A. (2019). Perancangan Prototipe Mesin CNC (Computer Numerically Controlled) Plotter 3 Axis 2D menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno. *JISICOM (Journal of Information System, Informatics and Computing)*, 3(2), 23-30.
- Gibbs, David dan Thomas MCrandell. 1993. *Dasar-Dasar Teknik dan Pemrograman CNC*. Bandung : PT. Remaja Rosdakarya. Hal : Bab 1-1, Bab 1-2, Bab 1-3.
- Grbl. 2009. Perangkat Lunak Grbl. Dari <https://github.com/grbl/grbl>.
- Herman L. Stephen. 2007. *Electric Motor Control 9th Edition*. USA : Delmar Learning . Hal : 127-128.
- Kadir, Abdul. 2018. *Dasar Pemrograman Robot Menggunakan Arduino*. Yogyakarta : Andi. Hal : 70.
- Kadir, Abdul. 2018. *From Zero To A Pro*. Yogyakarta : Andi. Hal : 2,3,178, 195.
- Linsley Trevor. 2004. *Instalasi Listrik Dasar*. Jakarta : Erlangga. Halaman 151.
- Morris, M. Noel. 1991. *Control Engginering Fourth Edition*. Inggris : McGraw- Hill Book Company (UK) Limited. Hal : 147-149.
- Nugroho, E. C., Nugroho, A., & Hendriyanto, I. (2019). Prototipe Mesin CNC 2D Berbasis Arduino Uno. *Go Infotech: Jurnal Ilmiah STMIK AUB*, 25(1), 43-52.
- Rahman, H. S., & Soleh, A. (2018). Perancangan Mesin Cnc (Computer Numericaly Control) Mini Plotter Berbasis Arduino. *It (Informatic Technique) Journal*, 5(2), 152-161.
- Resford B. Kenneth dan Gluliani R. 2002. *Electrical Control for Machine sixth Edition*. United States America : Delmar Learning. Hal : 33-35.
- Sutisna, N. A., & Fauzi, H. (2018). Rancang Bangun Prototipe Mesin Gravir Laser Berbasis Mikrokontroler Arduino.
- Syahrlul, M. (2011). Motor Stepper: Teknologi, Metoda Dan Rangkaian Kontrol. UNIKOM. Volume6, 3.
- Widiyanto, A. R., & Alfi, I. (2018). Prototipe Pembuatan CNC Dengan Pemanfaatan Motor Stepper Berbasis Arduino Uno (Doctoral dissertation, University of Technology Yogyakarta).
- Widodo, D. S., Sembodo, A., Mukmin, M. G., & Dozeno, J. (2019, October). Rancang Bangun Mesin CNC 3-Axis Berbasis Mikrokontroler Arduino. In *Seminar Nasional Teknik Mesin (Vol. 9, No. 1, pp. 300-308)*.
- Zona Elektro.net. Prinsip Kerja Motor Stepper. Dari <http://zoniaelektro.net/motor-stepper>.