

Rancang Bangun Prototipe Mesin Gravir Laser Berbasis Mikro-kontroler Arduino

Nanang Ali Sutisna¹, Harist Fauzi²

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Presiden

Email: ¹nanang.ali@president.ac.id, ²harist94@gmail.com

Abstrak

Penggunaan dan kebutuhan mesin gravir laser saat ini mengalami peningkatan di antaranya untuk kegiatan produksi dan praktikum di sekolah-sekolah kejuruan dan universitas teknik di Indonesia. Namun harga mesin gravir laser di pasaran masih cukup tinggi. Oleh karena itu perlu adanya langkah mencari solusi untuk mengatasi hal tersebut di antaranya dengan merancang bangun mesin gravir laser yang dikhususkan untuk keperluan praktikum dengan harga terjangkau. Sistem kontrol pada mesin gravir laser dirancang menggunakan mikrokontroler CNC 2 axis berbasis kontroler ATmega328 Arduino Nano, dengan penggerak tiga buah *motor stepper* sebagai aktuator, untuk menggerakkan mesin terhadap sumbu x, y, z dan modul laser dengan daya 2.500 mW. Untuk mencegah kerusakan jika ada kesalahan pergerakan, mesin dilengkapi tombol *emergency stop*. Penggunaan sistem kontrol dengan mikrokontroler CNC 2 axis berbasis ATmega328 Arduino nano dipilih pada mesin gravir laser karena *open source* dan lebih terjangkau. Diharapkan dengan diterapkannya mikrokontroler berbasis ATmega328 Arduino nano sebagai prototipe, ke depannya sistem kontrol dapat dikembangkan lebih lanjut agar sistem kontrol lebih stabil. Dari hasil pengujian mesin gravir laser dengan menggunakan parameter jarak laser, daya laser dan kecepatan gerak laser, didapat nilai parameter mesin gravir terbaik yang dijadikan sebagai standar parameter.

Kata kunci: Gravir laser, ATmega328 Arduino Nano, Mikrokontroler CNC 2 Axis

Abstract

Nowaday, the use and demand of laser engraving machines is increasing for production and practical activities in vocational schools and engineering faculty in Indonesia. However, the price of laser *engraving* machine in the market is still quite high. Therefore, there is a need to find a solution to overcome this problem by designing a laser-engraving machine that is devoted for practical purposes at affordable prices. The control system on the laser-engraving machine is designed using an Arduino Nano-based 2-axis CNC controller, with three stepper motor drive actuators, to drive the machine on the x, y, z axis and laser axis with 2500 mW of power. To prevent damage if there is a movement error, the machine is equipped with emergency stop button. The use of a control system with an Arduino nano-based 2-axis CNC microcontroller is selected on the laser engraving machine because it is open source and more affordable. It is expected that by implementing Arduino nano ATmega328 microcontroller as a prototype, in the future the control system can be developed further so that the control system is more stable. From the results of laser engraving machine testing using laser distance parameters, laser power and laser speed motion, obtained the value of the best engraving machine parameters to be used as standard parameters.

Keywords: Laser Engraving, ATmega328 Arduino Nano, CNC 2 Axis Microcontroller

1. Pendahuluan

Seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, aplikasi laser telah banyak digunakan dalam berbagai bidang. Penerapan aplikasi *laser processing* dapat berupa *laser engraving*, *laser marking* dan *laser cutting*. Aplikasi gravir laser pada material merupakan teknologi yang telah banyak digunakan dewasa ini khususnya dalam bidang proses manufaktur. Keunggulan teknik gravir dengan menggunakan laser dibanding dengan metode konvensional adalah ketepatan pengerjaan lebih baik, proses gravir lebih presisi, karena dikontrol secara otomatis menggunakan sistem *Computer Numerical Control (CNC)*. Pada proses gravir dengan menggunakan laser diperlukan adanya parameter yang tepat pada sistem kontrol untuk menjalankan mesin laser agar dapat beroperasi dengan baik dan benar. Berdasarkan hal tersebut, untuk mendapatkan kualitas yang baik

perlu adanya kombinasi pada proses gravir laser, antara lain jenis laser, daya laser, kecepatan laser, dan jarak fokus atau *laser head* dengan benda kerja.

Jenis laser menentukan material yang dapat diproses gravir metal dan non-metal. Daya pada laser berpengaruh pada kemampuan *gravir* terhadap material, kemudian jarak *laser head* pada mesin gravir laser berpengaruh terhadap titik fokus yang dihasilkan pada proses gravir. Sedangkan kecepatan gerak laser berpengaruh pada kekasaran hasil gravir pada permukaan benda kerja. Sehingga dengan menggunakan parameter yang tepat pada suatu jenis material, maka dapat mengurangi kerugian akibat cacat atau kerusakan yang akan timbul pada hasil proses gravir laser. Penelitian dengan pengujian kekasaran permukaan, menganalisa hasil gravir laser atau mengukur diameter dari laser yang ditembakkan ke material sangat diperlukan.

Dengan penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan *prototype* mesin gravir laser yang sederhana dengan harga terjangkau, serta mendapatkan standar parameter pengoperasian mesin yang terbaik. Mesin ini terutama dirancang sebagai sarana praktikum di lingkungan kampus atau sekolah menengah kejuruan.

2. Batasan dan Asumsi

Berdasarkan uraian rumusan masalah tersebut, maka pembahasan pada penelitian ini dibatasi antara lain mencakup jenis laser yang digunakan adalah jenis *laser diode* dengan daya 2.500 mW; material yang digunakan untuk proses *gravir* adalah non-metal, misalnya kertas, kain, kayu, plastik, mdf; parameter mesin gravir laser yang digunakan adalah daya laser, jarak *laser head* dan kecepatan pergerakan laser; program kontroler menggunakan *library* yang sudah ada; sistem kontrol menggunakan perangkat lunak Arduino IDE dan Laser GRBL. Konstruksi mesin diasumsikan aman karena beban yang dipikul relatif ringan dan kecepatannya rendah.

3. Teknologi Gravir Laser

3.1 Proses Gravir laser

Gravir laser adalah aktivitas laser yang digunakan untuk mengikis permukaan material, dimana sinar panas laser digunakan untuk mengikis atau membuang bagian-bagian permukaan material sehingga tulisan, gambar atau foto dapat tampak pada permukaan material yang digravir menggunakan laser. Prinsip kerja dari mesin gravir laser mirip dengan mengukir. Mesin gravir laser tidak dapat menghasilkan warna dan hasil dari proses gravir laser sangat bergantung pada jenis material dan besar kekuatan dari sinar laser yang digunakan.

3.2 Komponen Elektrikal

Komponen elektrikal yang digunakan pada sistem kontrol mesin gravir laser dalam penelitian ini sebagai berikut:

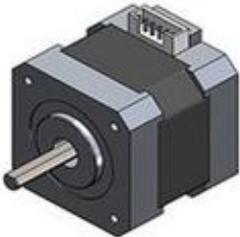
- Laser diode: Laser diode hanyalah salah satu jenis perangkat atau teknologi yang dapat menghasilkan sinar laser. Jenis lainnya yang dapat menghasilkan sinar laser di antaranya adalah *Solid State Laser*, *Gas Gas*, *Chemical Laser* dan *Dye Laser* (Wikipedia, 2018). Pada dasarnya, laser diode hampir sama dengan lampu LED yaitu dapat mengkonversi energi listrik menjadi energi cahaya, namun laser diode dapat menghasilkan sinar cahaya atau *beam* dengan intensitas yang lebih tinggi. Berdasarkan cara kerjanya, laser diode dapat dibedakan menjadi dua jenis (Radio-Electronics, 2018) yaitu *Injection Laser Diode* (ILD) dan *Optically Pumped Semiconductor Laser*. Spesifikasi laser diode yang digunakan pada sistem kontrol mesin gravir laser ditunjukkan pada Tabel 1 (Eleksmaker, 2018).

Tabel 1. Spesifikasi laser diode

Laser Specification		
	Brand	OEM
	Model	LA03-2500
	Heatsink Material	Aluminium
	Output Power	2,500 mW (2.5W)
	Wavelength	445 nm (Blue Laser)
	Voltage	DC 24 V
	Current	5A
	Beam Shape	Dot (Focusable)
	Life time	10,000 hour
	Working Temperature	40 - 75 C
	Can Engrave	MDF, Paper, Wood, Plastic, Leather

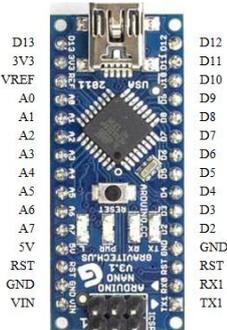
- **Motor Stepper:** Motor Stepper adalah seperangkat alat elektromekanis yang bekerja dengan mengubah pulsa elektronis menjadi gerakan mekanis. Pemilihan motor stepper sebagai aktuator atau penggerak dilakukan karena motor tersebut dapat dikendalikan dengan cukup mudah dan memiliki ketelitian yang tinggi. Adapun motor yang akan digunakan pada rancang bangun mesin gravir laser ini adalah sebagaimana diuraikan pada Tabel 2 (Abra-Electronics, 2018).

Tabel 2. Spesifikasi motor stepper

Motor Stepper Specifications		
	Model Number	17HS1352-P4130
	Phase Number	2
	Operating Voltage	12 - 24 V
	Current	1.33 A
	Step Angle	1.8 Degree
	Resistance	2.1 ohm
	Inductance	2.5mH
	Radial Torque	2.5 kg.cm
	Holding Torque	1.26 N.m
	Shaft Diameter	5 mm
	Rotary inertia	35g.cm ²
	Motor Weight	0.22 kg
	Dimension	42 x 42 x 34 mm (L x W x D)

- **Mikrokontroler:** Mikrokontroler adalah sebuah chip yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan dapat menyimpan program di dalamnya. Pemilihan Arduino nano sebagai mikrokontroler pada rancang bangun pototipe mesin gravir laser, karena Arduino nano sudah dilengkapi dengan beberapa fasilitas yang dapat digunakan berkomunikasi dengan komputer atau dengan board mikrokontroler lainnya. Arduino Nano mudah diprogram dengan menggunakan perangkat lunak Arduino IDE yang dilengkapi dengan serial monitor sehingga memungkinkan programmer untuk menampilkan data serial sederhana yang dapat dikirim atau diterima dari board Arduino Nano. Spesifikasinya dapat dilihat pada Tabel 3 (Atmel Co., 2008) berikut.

Tabel 3. Spesifikasi arduino nano

	Device	Keterangan
	Chip mikrokontroler	ATmega328P
	Tegangan operasi	5V
	Tegangan input	7V - 12V
	Digital I/O pin	14 buah, 6 di antaranya PWM
	Analog input pin	6 buah
	Arus DC per pin I/O	40 mA
	Memory Flash	32 KB, 0.5 KB telah digunakan untuk bootloader
	SRAM	2 KB
	EEPROM	1 KB
	Clock speed	16 Mhz
Dimensi	45 mm x 18 mm	
Berat	5 g	

- Komponen lainnya antara lain: *Shield* arduino nano, *driver* motor.

3.3 Komponen Mekanis

Komponen mekanis yang digunakan untuk mendukung sistem control pada mesin laser mesin gravir laser adalah poros rel, poros ulir linier *bearing*, *frame* aluminium, *bracket*, *shaft support* dan *pillow*, dan kopling, seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Komponen mekanis

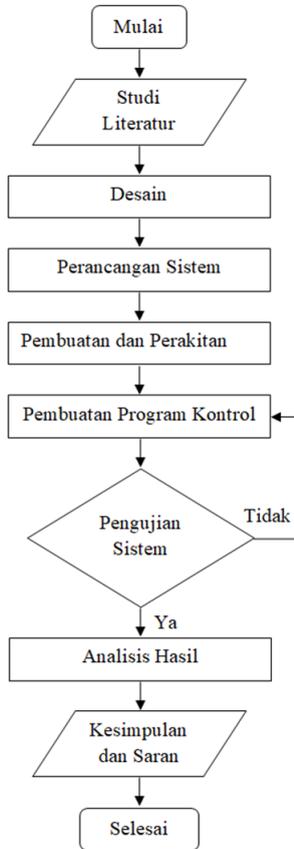
3.4 Perangkat Lunak Sistem Kontrol

Penggunaan perangkat lunak atau *software* pada perancangan prototipe mesin ini diperlukan untuk menggambar, mengontrol dan menguji kinerja mesin gravir laser ini. Adapun *software* yang digunakan sebagai berikut:

- *Arduino IDE*: melalui perangkat lunak *Arduino IDE* inilah *Arduino* dilakukan pemrograman untuk melakukan fungsi-fungsi yang dibenamkan melalui sintaks pemrograman.
- *Laser GRBL*: adalah *software* yang digunakan untuk mengontrol dan menguji kinerja mesin gravir laser, adapun penggunaannya melibatkan komputer untuk memasukkan perintah-perintah di antaranya mengatur pergerakan linear aktuator dengan cara mengatur putaran dan arah putaran motor stepper setiap *axis* pada mesin gravir laser dengan perintah *G-Code* (*Laser GRBL*, 2013).
- *Corel draw* adalah aplikasi desain berbasis vektor atau garis untuk membuat berbagai macam desain sampel uji kinerja mesin gravir laser.
- *Solidwork* digunakan untuk menggambar semua bagian dari mesin gravir laser, merakitnya, serta mensimulasikan mesin gravir laser dalam bentuk gerakan linear sesuai dengan yang direncanakan.

4. Metodologi Perancangan

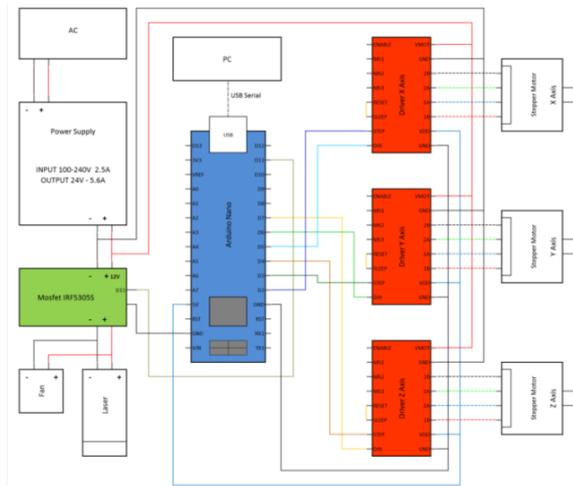
Tahapan yang dilakukan pada penelitian rancang bangun prototipe mesin gravir laser dengan mikrokontroler CNC 2 axis berbasis arduino nano adalah sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir perancangan

4.1 Perancangan Sistem Kontrol

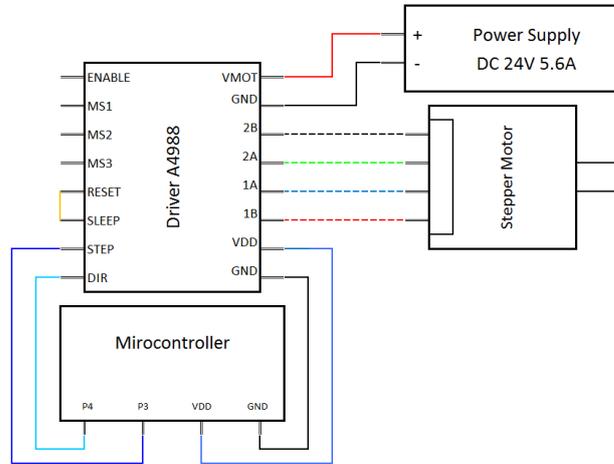
Prototipe mesin gravir laser ini bekerja dengan mekanisme 2 sumbu dan sistem kontrol pada mesin gravir laser menggunakan mikrokontroler. Jenis sistem kontrol mesin gravir laser pada perancangan ini adalah *loop* terbuka. Dengan menggunakan mikrokontroler berbasis arduino nano, sebagai penerjemah G-Code menjadi pulsa yang dikirim ke *driver* aktuator dan *driver* laser (mosfet IRF5305S). Blok diagram kontrol sistem ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema sistem control

4.1.1 Perancangan sistem kontrol aktuator

Perancangan sistem kontrol aktuator pada mesin gravir laser menggunakan *motor stepper* sebagai penggerak terhadap sumbu X, Y dan Z. dengan menggunakan *driver stepper type A4988* dengan skema rangkaian seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Sistem kontrol aktuator

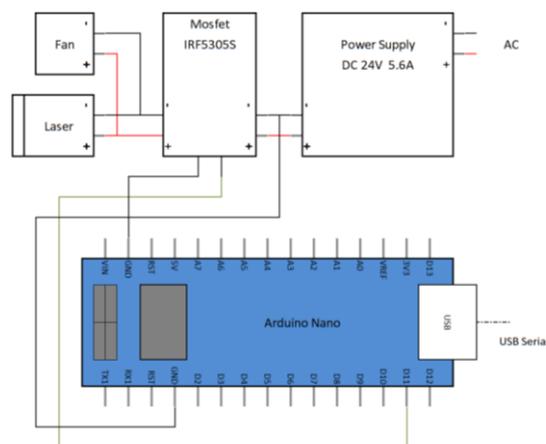
Untuk menggerakkan *motor stepper*, kita harus memberikan pulsa 5 V tegangan pada 4 pin *motor stepper* dengan pola urutan tertentu. Satu urutan tertentu tersebut akan menggerakkan satu *step* (1.8°). Memutar satu putaran penuh *motor stepper* (360°), dilakukan dengan mengulang 1 *step* tersebut sebanyak 200 kali dari perhitungan berikut ($360^\circ / 1.8^\circ = 200 \text{ step}$), untuk menggerakkan satu *step* maka 4 pin itu harus diberi pulsa dengan empat langkah seperti pada Tabel 4 (Mikro1311860, 2015).

Tabel 4. Urutan langkah

Step	Pin1	Pin2	Pin3	Pin4
#1	LOW	LOW	HIGH	HIGH
#2	HIGH	LOW	LOW	HIGH
#3	HIGH	HIGH	LOW	LOW
#4	LOW	HIGH	HIGH	LOW

4.1.2 Perancangan sistem kontrol laser

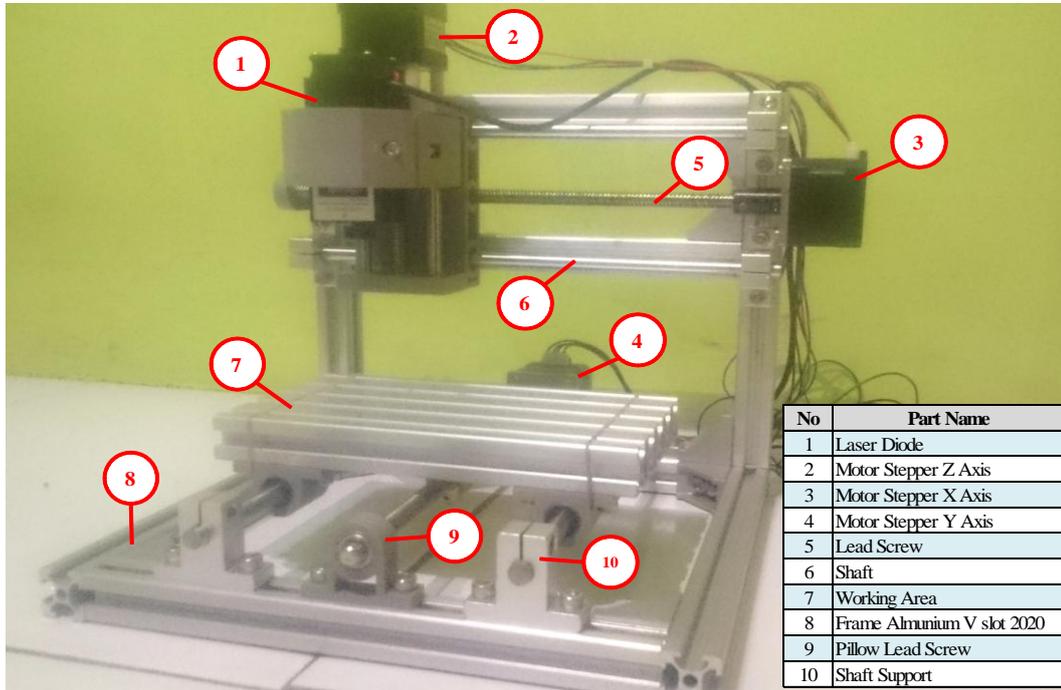
Perancangan sistem kontrol gravir laser menggunakan mosfet IRF5305S sebagai saklar *on, off* dengan dengan input PWM pada *Gate* maka akan mengontrol tegangan yang lewat melalui *Source* ke *Drain*. Besar kecilnya tegangan yang di alui *Source* dan *Drain* ini ditentukan besar kecilnya nilai PWM yang diinput di *Gate* dari *controller*. Skema rangkaian seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Sistem kontrol laser

5. Spesifikasi Mesin Gravir laser

Dalam rancang bangun mesin gravir laser dengan mikrokontroler arduino telah menghasilkan *prototype* mesin gravir laser seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Prototipe mesin gravir laser

Spesifikasi mesin gravir laser dalam penelitian rancang bangun mesin gravir laser menggunakan mikrokontroler arduino nano. Spesifikasinya bisa dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Spesifikasi mesin gravir laser

Spesifikasi Mesin Laser Gravir laser	
Control software	Laser GRBL
Controller	Arduino Nano
Frame	Aluminium V slot 2020
Actuator	Motor Stepper 0.25 N.m 1.3A
Power supply	DC 24V 5A
Laser	2,500 mW 12V
Work Area	100mm*180mm
Dimension	220mm*240mm*260mm

6. Pengujian

6.1 Metode Pengujian

Uji kestabilan kontrol sistem berbasis arduino nano dilakukan dengan analisis hasil dari *trial and error* pada proses gravir laser terhadap hasil akhir dan lebar garis gravir pada material. Dengan metode pengujian sebagai berikut:

1. Pengujian sistem kontrol dan fungsi aktuator terhadap gerak linier sumbu X dan sumbu Y dengan proses gravir laser membuat bentuk lingkaran, persegi dan gambar.
2. Pengujian sistem kontrol dan fungsi laser dengan uji proses gravir garis dan gambar.
3. Pengujian kinerja sistem kontrol mesin gravir laser dengan menggunakan parameter jarak laser, daya laser, kecepatan gerak *laser head*.
4. Pengujian kepresisian mesin gravir laser dengan membandingkan dimensi hasil dari proses gravir laser dengan perintah atau masukan pada sistem kontrol.
5. Menganalisis data dari hasil pengujian yang dilakukan.

6.2 Standar Keamanan

Sinar dari laser yang dihasilkan berbahaya bagi penglihatan manusia, ketika sinar itu mengenai mata secara langsung atau setelah refleksi dari permukaan yang mengkilap dapat menyebabkan kerusakan pada kornea mata serta dapat membakar kulit jika bersentuhan secara langsung. Oleh karena itu pada pengoperasian mesin gravir laser agar memperhatikan keselamatan dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Menggunakan alat pelindung keselamatan kerja seperti kacamata, masker dan sarung tangan.
2. Hindari sentuhan sinar laser dengan kulit secara langsung.
3. Setiap orang yang menggunakan laser harus sadar akan risiko yang dihadapi.
4. Bersihkan area kerja mesin dari benda yang dapat memantulkan cahaya.

6.3 Hasil Pengujian

Pada bagian ini menjelaskan mengenai proses pengujian yang selanjutnya dilakukan analisis untuk memperoleh data yang dibutuhkan sesuai dengan hasil yang diharapkan agar mesin gravir laser ini bisa digunakan dengan baik.

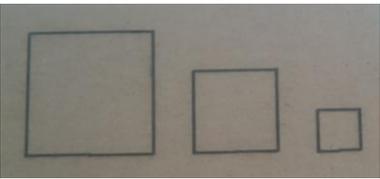
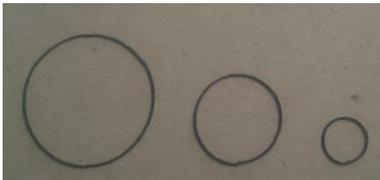
6.3.1 Pengujian Sistem Kontrol

Pengujian sistem kontrol pada mesin gravir laser dilakukan dengan beberapa metode pengujian mengacu kepada sistem kontrol dan fungsi dari aktuator serta laser yang digunakan.

6.3.1.1 Pengujian sistem kontrol dan fungsi aktuator

Pengujian sistem kontrol dan fungsi aktuator dengan cara membuat garis vektor berupa persegi, lingkaran dan gambar dengan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 6.

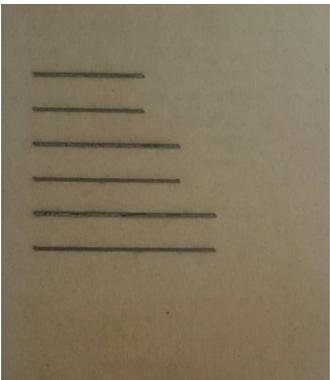
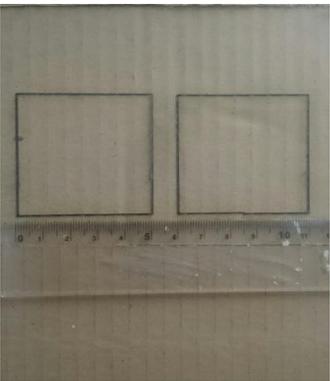
Tabel 6. Hasil pengujian sistem kontrol dan fungsi aktuator

No	Kecepatan gerak mm/min	Daya Laser	Jarak Laser Head (mm)	Input	Hasil
1	200	255	75	Persegi	
2	200	255	75	Lingkaran	
3	200	255	75	Gambar	

6.3.1.2 Pengujian sistem kontrol dan fungsi laser

Pengujian sistem kontrol dan fungsi laser dengan cara membuat garis, persegi dan gambar dengan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Pengujian sistem kontrol dan fungsi laser

No	Kecepatan gerak mm/min	Daya Laser	Jarak Laser Head (mm)	Input	Hasil
1	200	255	75	Garis	
2	200	255	75	Persegi	
3	200	255	75	Gambar	

6.3.2 Pengujian Mesin Gravir Laser

Pengujian kinerja dari mesin gravir laser dilakukan dengan parameter jarak *laser head*, daya laser dan kecepatan gerak laser. Untuk menentukan linai dari parameter yang digunakan pada proses gravir, dilakukan beberapa pengujian berikut.

6.3.2.1 Pengujian dengan metode jarak laser

Pengujian sistem kontrol mesin gravir laser menggunakan parameter jarak *laser head* terhadap benda kerja agar menghasilkan garis gravir yang baik, dengan menentukan nilai parameter jarak ideal *laser head* terhadap benda kerja yang akan diproses gravir. Pengujian dilakukan dengan variasi jarak laser yang berbeda, seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Pengujian dengan metode jarak laser

No	Kecepatan gerak mm/min	(S-Max) Daya laser	Jarak Laser Head (mm)	Hasil	Keterangan
1	200	255	75		Garis yang dihasilkan lebih stabil
2	200	255	60		Garis yang dihasilkan terlalu tebal
3	200	255	45		Garis yang dihasilkan tidak rata

6.3.2.2 Pengujian dengan metode daya laser

Pengujian sistem kontrol mesin gravir laser dengan menggunakan parameter daya laser yang digunakan dalam proses gravir. Menentukan nilai parameter daya laser ideal agar menghasilkan gravir yang baik, dilakukan pengujian dengan menggunakan variasi daya laser yang berbeda seperti pada Tabel 9.

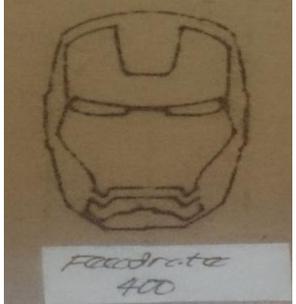
Tabel 9. Pengujian dengan metode daya laser

No	Kecepatan gerak mm/min	(S-Max) Daya laser	Jarak Laser Head (mm)	Hasil	Keterangan
1	200	105	75		Garis yang dihasilkan kurang tebal
2	200	155	75		Garis yang dihasilkan cukup tebal dan jelas
3	200	205	75		Garis yang dihasilkan tebal
4	200	255	75		Garis yang dihasilkan terlalu tebal

6.3.2.3 Pengujian dengan metode kecepatan gerak laser

Pengujian sistem kontrol mesin gravir laser dengan parameter kecepatan gerak laser dalam proses gravir. Menentukan nilai parameter kecepatan gerak laser dengan pengujian variasi kecepatan gerak laser yang berbeda, dengan hasil seperti pada Tabel 10.

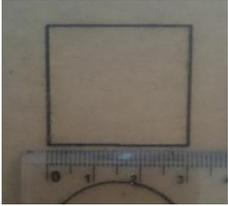
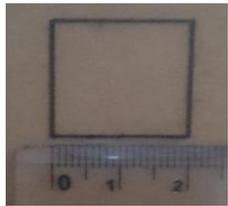
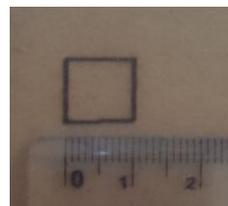
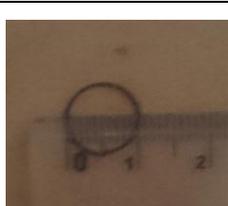
Tabel 10. Pengujian dengan metode kecepatan gerak laser

No	Kecepatan gerak mm/min	(S-Max) Daya laser	Jarak Laser Head (mm)	Hasil	Keterangan
1	100	155	75		Garis yang dihasilkan terlalu tebal
2	200	155	75		Garis yang dihasilkan nampak jelas
3	300	155	75		Garis yang dihasilkan tipis
4	400	155	75		Garis yang dihasilkan putus-putus

6.3.2.4 Pengujian akurasi sistem kontrol

Pengujian akurasi sistem kontrol mesin gravir laser dengan menganalisis hasil dari proses gravir dan membandingkan ukuran aktual dengan masukan pada sistem kontrol, yang dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Pengujian dengan kecepatan gerak laser

No	Kecepatan mm/min	(S-Max) Daya laser	Jarak Laser Head (mm)	Input	Hasil	Keterangan
1	200	255	75	Persegi ukuran 30mm x 30mm		Hasil ukur 30mm x 30mm (dari <i>center line</i>) Lebar garis 0.6mm
2	200	255	75	Persegi ukuran 20mm x 20mm		Hasil ukur 20mm x 20mm (dari <i>center line</i>) Lebar garis 0.6mm
3	200	255	75	Persegi ukuran 10mm x 10mm		Hasil ukur 10mm x 10mm (dari <i>center line</i>) Lebar garis 0.6mm
4	200	255	75	Lingkaran ukuran Diameter 30mm		Hasil ukur Diameter 30mm (dari <i>center line</i>) Lebar garis 0.6mm
5	200	255	75	Lingkaran ukuran Diameter 20mm		Hasil ukur Diameter 30mm (dari <i>center line</i>) Lebar garis 0.6mm
6	200	255	75	Lingkaran ukuran Diameter 10mm		Hasil ukur Diameter 30mm (dari <i>center line</i>) Lebar garis 0.6mm

7. Analisis Hasil Pengujian

Hasil data pengujian mesin gravir laser ini diperoleh dari beberapa tahap pengujian terhadap parameter yang sudah ditentukan seperti jarak laser, daya laser dan kecepatan gerak laser, guna mencari nilai parameter yang tepat untuk suatu material yang akan diproses *gravir* menggunakan laser.

1. Jarak ideal 75mm.
2. Nilai ideal *S-Max* pada *controller* Laser GRBL adalah 255.
3. Nilai ideal *border speed* pada *controller* Laser GRBL adalah 200.
4. Hasil analisis data pengujian kinerja mesin gravir laser, sistem kontrol berjalan dengan baik dan akurat, serta didapat nilai parameter yang ideal dijadikan standar.

8. Simpulan dan Saran

- Perancangan dan pembuatan prototipe mesin gravir laser 2 axis telah dilakukan beberapa langkah dan metode sehingga dapat bekerja dengan baik.
- Dari hasil pengujian mesin gravir laser dengan menggunakan parameter jarak laser, daya laser dan kecepatan gerak laser, dapat disimpulkan nilai parameter mesin gravir laser dan dijadikan standar parameter, seperti pada Tabel 12.

Tabel 12. Standar parameter mesin gravir laser

Standar Parameter Mesin Gravir laser			
Material	Kecepatan	S-Max	Jarak
	gerak mm/min	Daya Laser	Laser Head (mm)
Karton	200	255	75

- Untuk menghindari kesalahan dalam pergerakan mesin, telah dilakukan kalibrasi unit antara sistem *interface* dengan pergerakan mesin, sehingga perintah dengan unit tertentu pada komputer akan dieksekusi tepat oleh mesin gravir laser.
- Saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:
 - Kalibrasi sebelum proses diperlukan untuk menghindari terjadinya kerusakan akibat eror pada sistem kontrol.
 - Menambahkan *limit swicth* pada sumbu X dan sumbu Y, untuk meningkatkan sistem keamanan.
 - Untuk standar parameter gravir pada kayu dan akrilik perlu pengujian lebih lanjut.
 - *Laser module* yang digunakan dapat diganti dengan *motor spindle*.

9. Daftar Pustaka

1. Abra Electronics (2018). *CNC-KIT-01-SM 17HS1352 4-Wire Stepper Motor*, Tersedia pada: <https://abra-electronics.com/3d-printers-en/electronics-en/stepper-motors/nema-17/17hs1352-4-wire-stepper-motor.html>, diakses 2018Nop 2.
2. Atmel Co. (2008). *Datasheet-Atmega 328P*. ATMEL Cosporation, San Jose, USA.
3. Laser GRBL. (2013). *WHAT IS LASERGRBL*. Tersedia pada: <http://lasergrbl.com/en/>, diunduh 2018 Apr 12.
4. Osoyoo. (2017). *Arduino NANO +CNC Shield V4.0+A4988 User Manual*. Tersedia pada: <http://osoyoo.com/2017/04/07/arduino-nano-cnc-shield-v4-0a4988/> diakses 2018 Feb 18.
5. Radio-Electronics. (2018). *Laser diode*. Tersedia pada: https://www.radio-electronics.com/info/data/semicond/laser_diode/types-laser-diodes.php, diakses 2018 Sep 18.
6. Wikipedia. (2018). *List of Laser Types*. Tersedia pada: https://en.Wikipedia.org/wiki/List_of_laser_types, diakses 2018 Jul 3.

7. Mikro1311860. (2015). *Kendali motor stepper dengan arduino uno*. Tersedia pada: <https://mikro1311860.wordpress.com/2015/11/09/kendali-motor-stepper-dengan-arduino-uno/>, diakses 2018 May 2.
8. Eleksmaker (2018). *LA03-2500 Specification*. Tersedia pada: https://sea.banggood.com/445nm-2_5W-2500mW-Blue-Laser-Module-With-Heatsink-For-DIY-Laser-Cutter-Engraver-p-993521.html?cur_warehouse=USA, diakses 2018 Nop 2.