

HASIL DARI MESIN LASER ENGRAVING PADA MATERIAL AKRILIK DAN PVC

Vivin Octowinandi¹, Riko Yolanda²

¹*Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam, Indonesia*

E-mail: vivin@polibatam.ac.id

Received: 17-08-2022

Accepted: 31-08-2022

Published: 31-08-2022

Abstrak

Penggunaan mesin *engraving* manual untuk pembuatan *nameplate* serta label pada box panel listrik saat ini kurang efektif dan efisien untuk pengerjaan yang berulang-ulang. Di perusahaan tempat penulis bekerja, mesin *engraving* yang digunakan untuk membuat *nameplate* masih menggunakan sistem manual. Untuk mempermudah dan meningkatkan produktivitas dalam pembuatan *nameplate*, penulis merancang bangun mesin *engraving* berbasis mikrokontroler dengan dua penggerak motor *stepper*. Fungsi dari motor *stepper* ini adalah untuk menggerakkan laser pada mesin terhadap sumbu *x* dan sumbu *y*. Modul laser berfungsi untuk membakar atau mengukir akrilik yang dijadikan sebagai media tulis label, dengan menggunakan software *open source* sebagai *interface* ke mesin. Hasil pengujian mesin *engraving* sesuai dengan input yang dibuat pada software. Dari hasil penelitian dengan menggunakan bahan akrilik dan PVC sebagai media ukir, diperoleh parameter intensitas daya laser untuk Bahan PVC adalah 100 (980mW) sedangkan untuk bahan akrilik 255 (2500mW) dengan kecepatan gerak sumbu laser 1000mm/min. Sehingga dapat disimpulkan hasil rancangan mesin *engraving* ini bekerja dengan baik pada bahan akrilik dan juga bahan PVC.

Kata kunci: : *Mesin engraving , Mikrokontroler, Laser , Akrilik, PVC*

Abstract

The use of manual machines for making nameplates and labels on electrical panel boxes is currently less effective and efficient for repetitive work. In the place where the author works, the engraving machine used to make nameplates still uses a manual system. To simplify and increase productivity in the manufacture of nameplates, the author designed a microcontroller-based automatic machine with two stepper motor drives. The function of this stepper motor is to move the laser on the machine about the and axes. The laser module functions to burn or engrave acrylic which is used as label writing media, using open source software as an interface to the machine. The results of the machine test are in accordance with the input made in the software. From the results of research using acrylic and PVC materials as the media, the parameter of laser power intensity for PVC material is 100 (980mW) while for acrylic material it is 255 (2500mW) with a laser axis speed of 1000mm/min. So it can be concluded that the design results of this machine work well on acrylic and PVC materials.

Keywords: *Engraving machine, Microcontroller, Laser , Acrylic, PVC*

Pendahuluan

A. Latar Belakang dan Tujuan

Mesin atau dalam bahasa Inggris *engraver* adalah mesin yang dapat mengukir dengan menyayat atau menggores permukaan benda keras yang rata menjadi bentuk suatu pola sesuai dengan hasil rancangan. Di dunia industri mesin banyak digunakan untuk membuat *nameplate* atau label yang nantinya bisa ditempel pada produk di perusahaan. *Nameplate* banyak digunakan karena tingkat ketahanannya sangat tinggi, tidak mudah robek atau rusak seperti label dari kertas. Di perusahaan tempat penulis bekerja, mesin yang digunakan untuk membuat *nameplate* masih menggunakan sistem manual seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Mesin Manual

Kelemahan dari mesin manual ini yang paling utama terbatasnya karakter huruf dan angka yang tersedia seperti yang terlihat pada Gambar 2. Selain itu peluang kesalahan dalam pengerjaannya sangat tinggi, perlu fokus dan ketelitian menggunakan mesin ini. Sebagai acuan lainnya pada penelitian [1-2] telah dibuat desain dan dilakukan uji coba serta simulasi mesin pada material kertas, fiber, dan plastic.

Melihat permasalahan diatas, penulis merancang bangun mesin dengan konsep hampir sama dengan mesin CNC router dengan menggunakan modul laser sebagai alat pemotong dan mengukir. Dengan merancang bangun mesin menggunakan modul laser sebagai pengukir, diharapkan permasalahan yang dialami saat menggunakan mesin manual dapat teratasi.



Gambar 2. Karakter Huruf dan Angka Manual

B. Dasar Teori

1. Mesin Engraving Laser

Mesin laser adalah aktivitas laser yang dimanfaatkan untuk mengikis permukaan material, dimana sinar laser yang panas dipakai untuk mengikis atau membakar bagian permukaan material sehingga tulisan atau karakter nampak seperti diukir. Proses laser sangat bergantung pada jenis material yang digunakan serta kekuatan dari sinar laser. Makin kuat daya laser maka makin banyak jenis material yang bisa diukir.

2. Mikrokontroler Arduino

Mikrokontroler Arduino Uno salah satu komponen utama dalam sistem kerja mesin *engraving* berfungsi sebagai pengendali sistem motor *stepper* dan juga dioda laser. Input Arduino menerima informasi dari komputer lalu diproses, bagian output menjalankan perintah sesuai dengan program yang telah dibuat untuk menggerakkan perangkat-perangkat output (motor *stepper* dan laser diode).

3. Motor Stepper

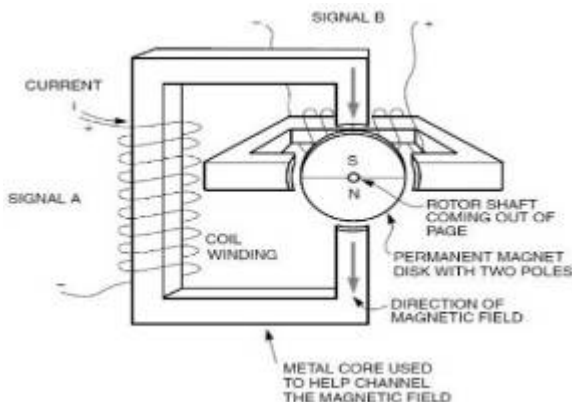
Motor *stepper* adalah motor DC yang tidak memiliki komutator, umumnya hanya memiliki kumparan stator sedangkan rotor berupa magnet permanen (bahan feromagnetik), sehingga dengan konstruksi begini motor *stepper* bisa diatur posisi sudut dan arah putaran sesuai yang diinginkan [3]. Motor *stepper* berputar berdasarkan langkah putaran (*step*), setelah putaran selesai maka motor akan berhenti pada langkah yang telah ditentukan. Nilai rating dari suatu motor *stepper* diberikan dalam langkah per putaran (*steps per revolution*).

Berdasarkan konfigurasi lilitan pada statornya, motor *stepper* dibedakan menjadi dua jenis utama.

Tipe yang pertama adalah Motor *Stepper* Bipolar (dua polaritas). Motor *Stepper* Bipolar adalah motor *stepper* yang tersusun dari dua lilitan (coil) dengan empat buah input. Untuk mengontrolnya diperlukan sinyal digital yang berubah-ubah dari positif ke negatif dan sebaliknya pada setiap lilitannya, tujuannya untuk menghasilkan fluktuasi magnetik yang berubah-ubah sehingga rotor dapat berputar sesuai sudut step-nya [3].

Tipe yang kedua adalah Motor *Stepper* Unipolar. Motor *Stepper* Unipolar adalah motor *steper* yang tersusun atas empat lilitan (coil) yang terdiri dari dua lilitan yang memiliki cabang tengah. Biasanya cabang tengah dari motor *stepper* unipolar terhubung, sehingga motor *stepper* ini memiliki lima atau enam input pengontrol [3].

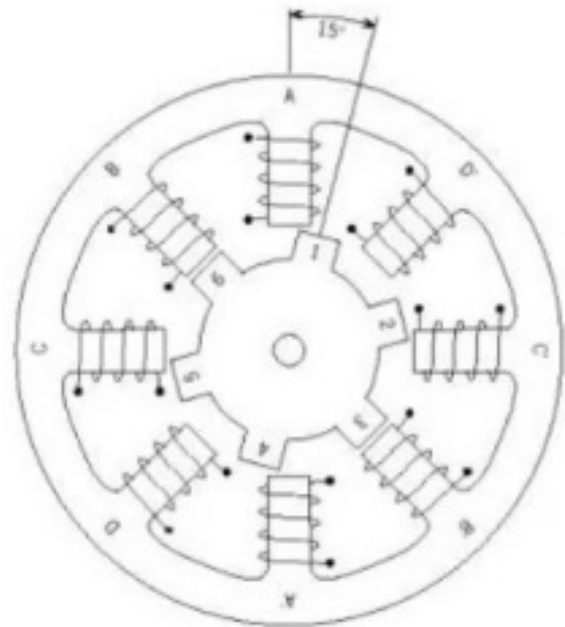
Berdasarkan struktur rotor dan statornya, motor *stepper* dibedakan menjadi 3 jenis. Yang pertama adalah Motor *Stepper* tipe Permanen Magnet (PM). Motor jenis ini menghasilkan putaran dengan menggunakan gaya magnet permanen pada rotornya dan elektromagnet yang dihasilkan oleh arus listrik pada lilitannya. Motor *stepper* tipe ini, meskipun tidak dialiri arus listrik, motor memiliki ketahanan magnetis terhadap putaran [4]. Motor *stepper* jenis ini memiliki resolusi langkah (step) yang rendah diantara $7,5^\circ$ hingga 15° per langkah atau 24 hingga 48 langkah tiap putarannya [5]. Gambar 3 menunjukkan motor *stepper* tipe permanen magnet (PM).



Gambar 3. Motor *Stepper* Tipe Permanen Magnet [5]

Tipe yang kedua adalah Motor *Stepper* tipe *Variable reluctance* (VR). Motor *stepper* tipe *variable reluctance* tidak memiliki magnet per-

manen pada rotornya. Untuk menghasilkan putaran bersumber dari gaya elektromagnetik. Rotor yang bergerigi dimana setiap gigi rotor ditarik mendekati kutub medan stator yang termagnetisasi. Gambar 4 menunjukkan ilustrasi dari motor *stepper* tipe *variable reluctance*.

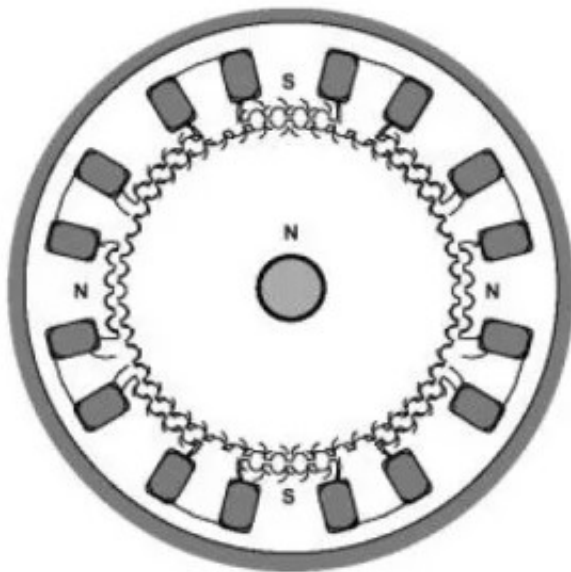


Gambar 4. Motor *Stepper* Tipe *Variable reluctance* [5]

Tipe yang ketiga adalah Motor *Stepper* Hybrid (HB). Motor *stepper* jenis ini merupakan kombinasi antara motor *stepper* tipe *variable reluctance* dan permanent magnet, untuk resolusi langkah yang dimiliki oleh motor ini tinggi yaitu antara $0,9^\circ$ hingga $3,6^\circ$ atau 100 hingga 400 langkah setiap putarannya [5]. Gambar 5 menunjukkan ilustrasi dari motor *stepper* tipe hybrid.

Motor *stepper* sangat luas penggunaannya di dunia industri, terutama untuk menggerakkan mesin yang membutuhkan keakuratan tinggi dalam pergeseran. Karena kelebihan yang dapat bergerak perlangkah menjadi alasan utama dalam pemilihan motor *stepper*.

Pergerakan putaran pada motor *stepper* berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor, oleh karena itu untuk menggerakkan motor *stepper* memerlukan perangkat pengendali yang akan membangkitkan pulsa-pulsa periodik [6].



Gambar 5. Motor Stepper Tipe Hybrid [3]

4. Driver Motor Stepper

Berbeda dengan motor DC biasa yang bisa berputar dengan memberikan polaritas tegangan saja. Motor *stepper* bekerja berdasarkan pulsa-pulsa yang diberikan dengan urutan yang tepat dan arus yang cukup pada lilitan fasenya. Oleh karena itu untuk pengoperasian motor *stepper* membutuhkan suatu penggerak (*driver*) untuk menyediakan arus yang dibutuhkan oleh lilitan fase. *Driver* motor bertanggung jawab untuk memastikan bahwa jumlah arus yang diperlukan tersedia untuk motor.

Pada motor *stepper* mode langkah (step angle) dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu langkah penuh (full step), setengah langkah (half step) dan mikrostep. Dipasaran yang populer dijual motor *stepper* dengan spesifikasi step angle 1.8° , artinya motor *stepper* tersebut membutuhkan 200 langkah (step) untuk mencapai satu putaran penuh 360° . Berikut penjelasan dari ketiga mode langkah motor *stepper*.

a) Langkah Penuh (full step)

Mode langkah penuh adalah motor *stepper* diputar hingga 360° . Jika menggunakan motor *stepper* dengan step angle 1.8° , maka motor *stepper* diberi sinyal sebanyak 200 langkah untuk mencapai putaran 360° .

b) Setengah Langkah (half step)

Mode setengah langkah artinya motor *stepper* diputar 180° . Jika menggunakan motor *stepper* dengan step angle 1.8° , maka motor

stepper diberi sinyal sebanyak 100 langkah untuk mencapai putaran 180° .

c) Mikrostep

Mikrostep adalah istilah pergerakan motor *stepper* pada putaran mikro. Motor *stepper* tidak bisa diterapkan seperti langkah penuh, 200 langkah per 360° untuk menggerakkan motor *stepper* per 1° , sedangkan spesifikasi motor 1.8° . Solusi untuk persoalan diatas dengan menggunakan mode mikrostep, dimana langkah yang dibuat bisa lebih dari 360 langkah. Jika langkah bisa dibuat 360, maka satu putaran 360° dibagi 360 langkah, hasilnya motor *stepper* dapat digerakkan 1° . Mode mikrostep ini merupakan teknologi dari *driver* motor *stepper* bukan bergantung dari motor *stepper* yang digunakan.

Pada mesin *engraving* ini penulis menggunakan modul *driver* motor *stepper* TB6560 yang memiliki kapasitas arus maksimal 3A. Bentuk fisik *driver* TB6560 ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Driver Motor Stepper TB6560

TB6560 adalah IC *driver* motor *stepper* keluaran TOSHIBA yang dirancang untuk kontrol mikrostep input sinusoidal dari motor *stepper* bipolar. Mampu mengontrol motor *stepper* bipolar dua fase mengurangi getaran, menggerakkan maju dan mundur hanya dengan menggunakan sinyal clock [6]. TB6560 ini memiliki beberapa port yang nantinya terhubung ke power supply, signal input, dan motor *stepper*. TB6560 mendukung empat mode mikrostep yang dapat diatur melalui dip switch S3 dan S4 seperti pada Tabel 1.

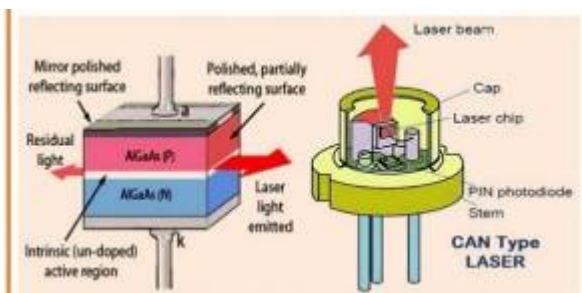
Tabel 1. Pengaturan Mikrostep

S3	S4	Resolution
Off	Off	Full step
On	Off	$\frac{1}{2}$ step
On	On	$\frac{1}{8}$ step
Off	On	$\frac{1}{16}$ step

5. Laser Diode

Laser merupakan singkatan dari Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation yang bisa diartikan sebagai mekanisme dari suatu alat yang memancarkan radiasi elektromagnetik melalui proses pancaran terstimulasi [7]. Laser dioda adalah komponen semikonduktor yang dapat menghasilkan radiasi koheren yang dapat dilihat oleh mata ataupun dalam bentuk spektrum infra merah. Radiasi koheren adalah radiasi dimana semua gelombang berasal dari sumber yang sama serta berada pada frekuensi dan fasa yang juga sama [8]. Radiasi tersebut ada yang dapat dilihat oleh mata normal, ada juga yang tidak dapat dilihat. Berdasarkan cara kerjanya laser dioda dapat dibedakan menjadi dua jenis.

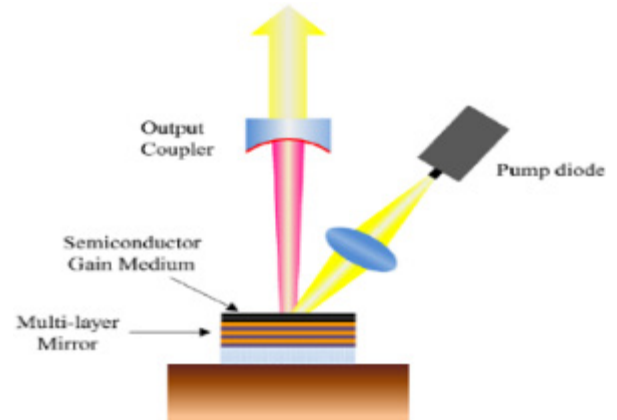
Jenis yang pertama adalah Injection Laser Diode (ILD). Cara kerjanya ILD memiliki kemiripan seperti LED (light Emitting Diode) terletak perbedaan pada laser dioda terdapat saluran atau kanal panjang yang sempit dengan ujung yang reflektif. Pada kanal tersebut cahaya laser direfleksikan diperkuat sehingga menghasilkan emisi terstimulasi sebelum dipancarkan keluar. Gambar 7 menunjukkan prinsip kerja dari laser ILD.



Gambar 1. Struktur ILD

Jenis yang kedua adalah Optically Pumped Semiconductor Laser (OPSL). OPSL menggunakan chip semikonduktor sebagai dasarnya yang bekerja sebagai media penguat optik dan laser dioda yang terdapat didalamnya berfungsi sebagai sumber pompa [9-11]. Gambar 8 menunjukkan prinsip kerja laser OPSL.

Dalam rancang bangun mesin *engraving* ini penulis menggunakan laser dioda type OPSL (Optically Pumped Semiconductor Laser) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Laser jenis ini sudah banyak tersedia dipasaran dengan berbagai ukuran dan daya.



Gambar 8. Struktur OPSL



Gambar 9. Modul Laser

6. Modul Mosfet

Dalam rancang bangun mesin *engraving* ini module mosfet digunakan untuk pengendali laser. Difungsikan sebagai saklar on off, mosfet akan mengontrol daya pada laser. Mosfet yang akan digunakan berupa module type IRF5305S seperti ditunjukkan pada Gambar 10.

7. Perangkat Lunak (Software)

Perangkat lunak (software) yang digunakan dalam rancang bangun mesin *engraving* ini adalah open source (sumber terbuka) dimana penggunaannya bebas mengembangkan dan menyebarluaskan tanpa harus membayar lisensi kepada pembuat aplikasinya. Adapun software yang digunakan sebagai berikut.

1) Arduino IDE (Integrated Development Environment)

Merupakan software yang digunakan untuk membuat sketch pemrograman atau media untuk

pemrograman arduino board. Adapun file program yang dibuat menggunakan arduino IDE memiliki ekstensi file dot ino (.ino). Tampilan software arduino ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 10. Modul Mosfet IRF5305S

```

Laser_test | Arduino 1.8.8
File Edit Sketch Tools Help
Laser_test
int laser = 11;

void setup() {
  // initialize digital pin 11 as an output.
  pinMode(laser, OUTPUT);
}

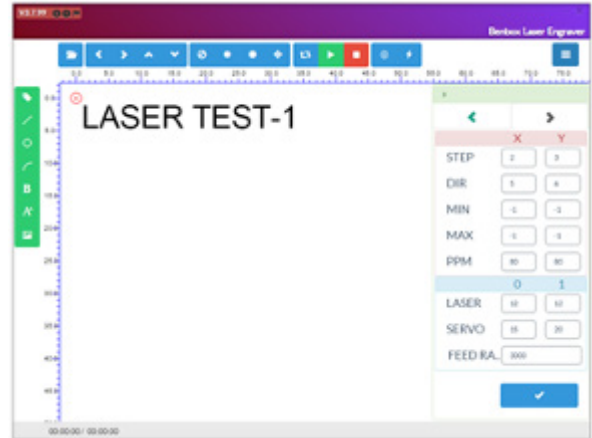
// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(laser, HIGH); // output pin 11 high (HIGH is the
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(laser, LOW); // output pin 11 low (LOW is the v
  delay(1000); // wait for a second
}
    
```

Gambar 11. Tampilan Arduino IDE

2) Benbox Laser Engraver

Benbox laser engraver merupakan salah satu software open source G-Code sender yang dikembangkan oleh perusahaan swasta asal Tiongkok bernama Makeblock. Sebagai pengembang perangkat keras dan perangkat lunak berbasis Arduino, Makeblock menyediakan peralatan pendidikan untuk pembelajaran.

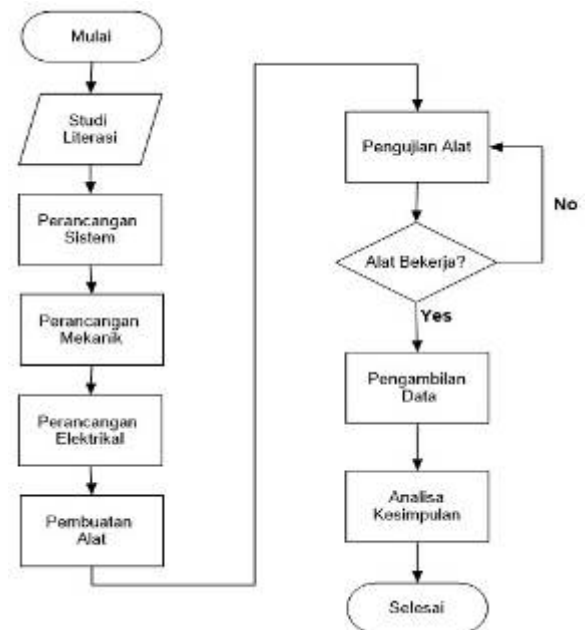
Benbox Laser Engraver berfungsi sebagai G-Code sender yang sederhana dan mudah dioperasikan untuk menjalankan mesin engraving, mampu konversikan raster ke G-Code dan mengirimkan data ke arduino. Tampilan software benbox laser engraver ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Tampilan Benbox Laser Engrave

Metode Penelitian

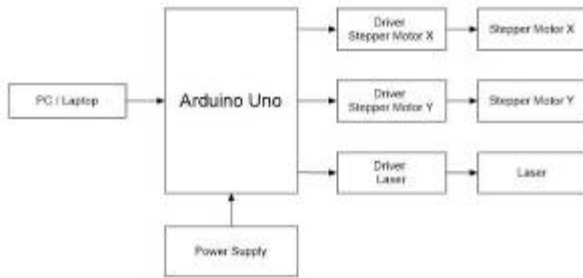
Dalam melakukan rancang bangun mesin engraving ini dilakukan dalam beberapa tahapan yang dimulai dari studi literasi hingga kesimpulan dari hasil rancangan. Gambar 13 menunjukkan flow chart tahapan rancang bangun mesin engraving.



Gambar 13. Flow chart Rancang Bangun Mesin Engraving

A. Perancangan Sistem Kerja

Pada perancangan mesin laser *engraving* ini sistem kontrol yang digunakan adalah open loop (sistem kontrol lingkaran terbuka), dimana output (keluaran) aktuator berupa motor *stepper* dan laser dioda tidak memberikan pengaruh pada aksi kontrol pada mikrokontroler arduino.



Gambar 14. Blok Diagram

Pada Gambar 14 merupakan blok diagram sistem pada tugas akhir ini. Mesin laser *engraving* akan mengikis permukaan benda kerja berupa lembaran akrilik dengan ukuran dan pola yang telah di buat pada PC/laptop. Laser sebagai aktuator ukir akan membakar permukaan akrilik sesuai dengan pola yang telah dibuat pada aplikasi di PC. Motor *stepper* akan bergerak pada axis sumbu x dan axis sumbu y mengikuti bentuk pola yang dibuat pada PC/laptop.

B. Perancangan Mekanik

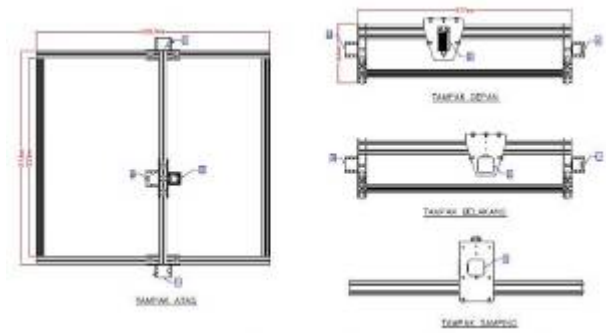
Dalam pengerjaan tugas akhir ini untuk perancangan mekanik dibagi menjadi dua bagian yaitu perancangan rangka aluminium dan perancangan box enclosure dengan uraian sebagai berikut [12].

1) Perancangan Rangka Aluminium

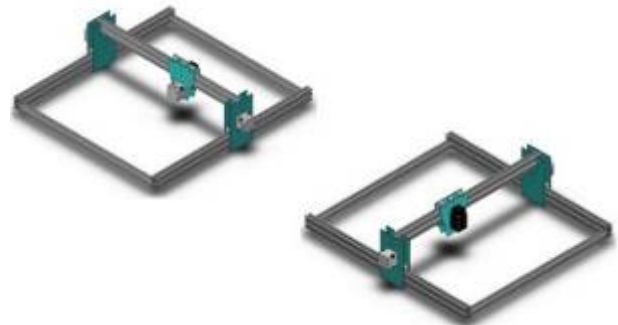
Rangka aluminium pada mesin *engraving* ini berfungsi sebagai slider tempat kedudukan motor *stepper* dan modul laser dioda. Bentuk perancangan rangka aluminium mesin *engraving* seperti pada Gambar 15 dan Gambar 16.

2) Perancangan Box Enclosure

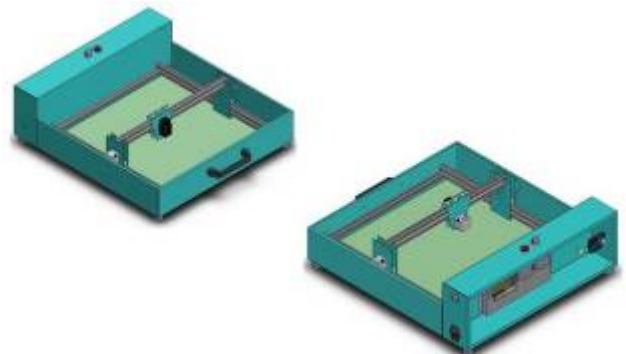
Box enclosure pada mesin *engraving* selain berfungsi tempat kedudukan komponen kontrol juga sebagai tempat kedudukan rangka aluminium mesin *engraving*. Gambar 17 perancangan tampak keseluruhan rangka aluminium dan komponen kontrol yang telah dirakit pada box enclosure.



Gambar 15. Ukuran Rangka Aluminium



Gambar 16. Desain Rangka Tampak Isometri



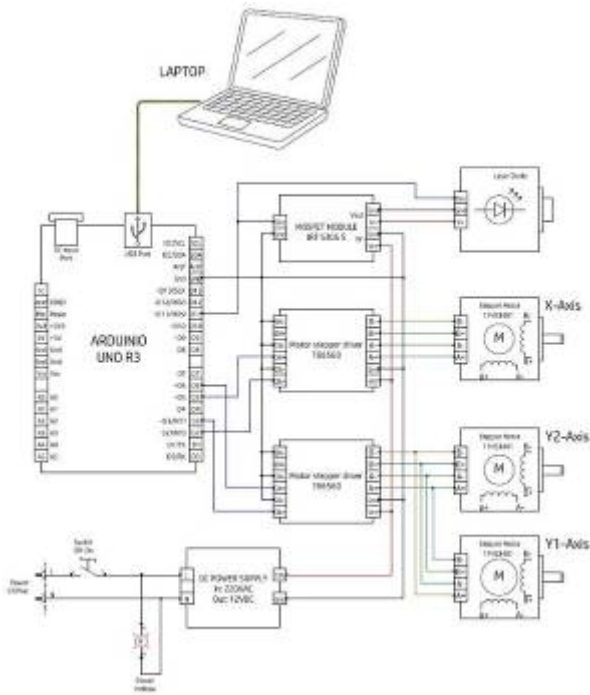
Gambar 2. Rancangan Box Enclosure

C. Perancangan Elektrikal

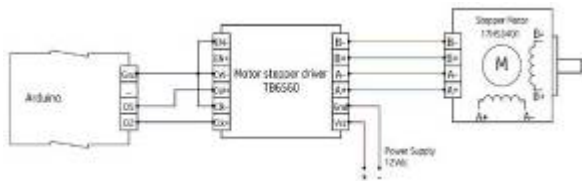
Skematik diagram dalam rancang bangun mesin *engraving* laser bisa dilihat pada Gambar 18. Pada Gambar 18 menunjukkan gambar skematik secara keseluruhan pada perancangan mesin *engraving* laser, yang komponennya terdiri dari Arduino Uno R3, mosfet module IRF 5305S, laser, *driver stepper* motor, *stepper* motor, power supply, lampu indikasi dan switch off on untuk mematikan power. Untuk penjelasan disetiap bagian akan diuraikan sebagai berikut.

1) Perancangan Sistem Kontrol Motor Stepper

Sebagai penggerak axis sumbu x dan axis sumbu y pada mesin *engraving* laser ini menggunakan motor *stepper* bipolar nema 17 dengan menggunakan *driver stepper* type TB6560 dengan skematik rangkaian bisa dilihat pada Gambar 19 [13].



Gambar 3. Skematik Diagram Mesin Engraving Laser



Gambar 4. Skematik Diagram Motor Stepper

Berikut fungsi dari setiap terminal *driver* motor TB6560.

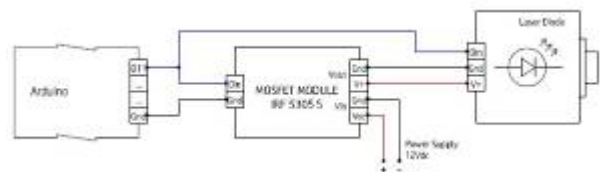
- Empat pin output (A+,A-,B+,B-) yang terhubung dengan motor *stepper* bipolar
- Dua pin power yang terhubung dengan VCC dan GND dari power supply
- Dua pin input pengontrol step putaran motor (CLK+, CLK-). CLK+ terhubung dengan output D2 arduino, CLK- terhubung dengan GND. Motor *stepper* akan berputar ketika mendapatkan sinyal

berupa pulsa digital, dan berhenti ketika tidak mendapatkan sinyal

- Dua pin input pengontrol arah putaran motor (CW+, CW-). CW+ terhubung dengan output D6 arduino, CW- terhubung dengan GND. Motor akan berputar searah jarum jam ketika low level sinyal dan berputar berlawanan arah jarum jam ketika high level sinyal
- Dua pin input untuk mengaktifkan motor (EN+, EN-). Motor *stepper* akan aktif ketika kondisi low level sinyal dan no-aktif ketika high level sinyal

2) Perancangan sistem kontrol laser

Laser sebagai pengukur benda kerja dikontrol dengan mosfet IRF5305S yang difungsikan sebagai saklar on off, dengan skematik rangkaian ditunjukkan pada Gambar 20.



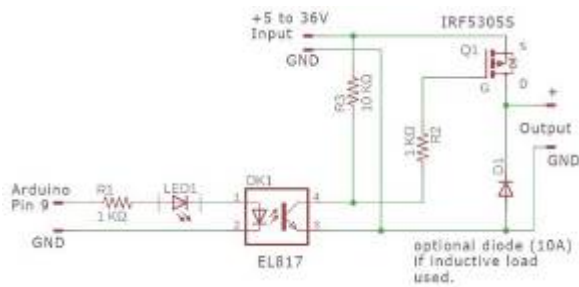
Gambar 5. Skematik Diagram Laser

Module mosfet IRF5305S terdiri dari dua pin input power VCC dan GND yang terhubung dengan power supply, dua pin output power V+ dan GND yang terhubung dengan pin power pada laser. Untuk input mosfet terdiri dua pin, satu terhubung dengan pin output D11 pada arduino dan pin GND terhubung dengan GND arduino.

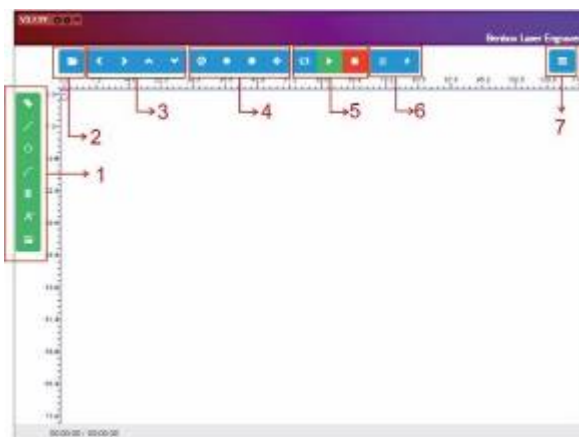
Mosfet IRF5305S yang difungsikan sebagai saklar on off mendapatkan input sinyal PWM yang bersumber dari pin output D11 arduino pada gate mosfet, tegangan yang melalui source ke drain akan dikontrol oleh mosfet. Skematik module mosfet IRF5205S ditunjukkan pada Gambar 21.

D. Software Benbox Laser Engraver

Sebagai interface untuk menjalankan mesin engrave, Benbox Laser *Engraver* memiliki fitur yang sederhana dan ringkas. Berikut penjelasan pengaturan tools yang ada pada menu program Benbox untuk dapat mengoperasikannya. Tampilan interface Benbox setelah selesai instalasi pada komputer ditunjukkan pada Gambar 22 .



Gambar 6. Skematik Module Mosfet IRF5305S



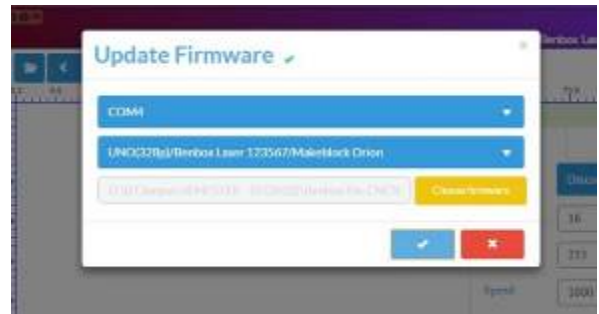
Gambar 7. Tampilan Program Benbox

Berikut keterangan dari masing-masing tools :

- 1) Drawing tools
- 2) Open File
- 3) Kontrol pergerakan sumbu axis mesin
- 4) Kontrol laser
- 5) Start stop mesin
- 6) Pemrograman mikrokontroller
- 7) Parameter settings

Langkah awal setelah instalasi program Benbox yaitu melakukan pemrograman Arduino dengan langkah sebagai berikut :

- 1) Klik *icon tools* nomor enam dengan logo petir, dan menu update firmware akan tampil seperti Gambar 23.



Gambar 8. Update Firmware

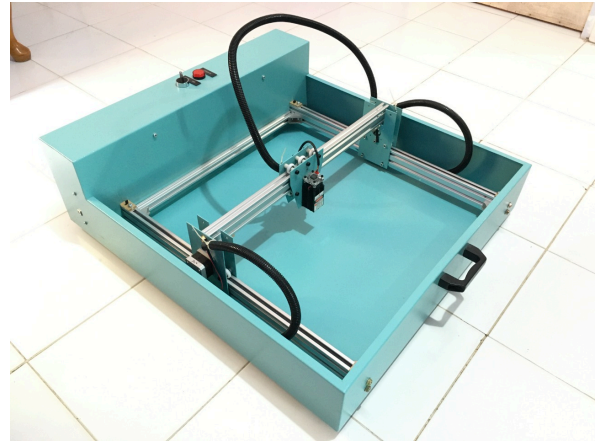
- 2) Pilih serial port yang tepat, di komputer penulis port COM4
- 3) Pilih mikrokontroler yang digunakan, penulis menggunakan Arduino Uno
- 4) Pilih firmware dengan memasukan alamat file program Arduino berada. file firmware berupa hex file berada di folder yang sama dengan program instalasi program Benbox ketika diunduh dari web.
- 5) Click icon centang biru untuk memulai pemrograman Arduino. Jika berhasil akan muncul centang hijau.

Pada menu parameter *settings*, ada beberapa nilai yang harus dimasukan agar mesin *engraver* dapat beroperasi. Dengan click icon parameter *settings*, akan muncul jendela pengaturan seperti pada Gambar 24.

- 6) STEP, nomor pin pada Arduino yang dipakai untuk perputaran langkah motor *stepper*. Penulis menggunakan pin output nomor 2 untuk x axis dan pin nomor 3 untuk y axis
- 7) DIR, nomor pada Arduino yang dipakai untuk arah putaran pada motor *stepper*. Penulis menggunakan pin output nomor 5 untuk x axis dan pin nomor 6 untuk y axis
- 8) MIN dan MAX, jarak maksimal dan minimal pergerakan sumbu axis. Disini penulis tidak menggunakan jadi penulis masukan nilai minus satu
- 9) Intensity, merupakan intensitas dari laser dioda dari rentang 0-255, dimana

daya tiap satuan intensitasnya adalah 2500mW dibagi 255 yaitu 9.8mW.

- 10) LASER, nomor pin pada Arduino yang dipakai untuk menghidup matikan laser, penulis menggunakan pin 11
- 11) FEED RATE, kecepatan maksimal pergerakan motor *stepper* ketika laser mati



Gambar 24. Mesin laser engraving

Untuk akrilik dan PVC terbagi beberapa jenis yang digunakan adalah akrilik dengan warna transparan (bening tembus pandang) dengan lapisan cat warna hitam dan cat warna putih disalah satu sisi permukaannya. Kemudian akrilik dengan warna hitam dengan lapisan cat warna putih disalah satu sisi permukaannya. Serta PVC warna hitam dengan lapisan cat warna putih disalah satu sisi permukaannya.

Pengambilan data pengujian dilakukan beberapa model, dimana setiap model, data yang diambil lima hingga sepuluh sample. Hasil pengujian *engraving* akan dikelompokkan menjadi tiga katagori penilaian yang dapat dilihat secara visual, yaitu:

- 1) Baik

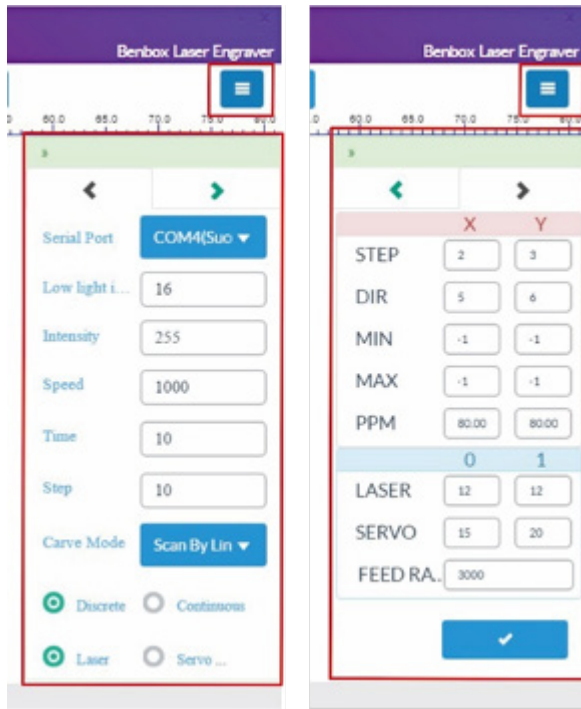
Katagori ini dapat dilihat dari hasil ukir yang terlihat jelas, bersih, rapi sesuai dengan ukuran dan bentuk input software

- 2) Cukup

Hasil ukir sesuai ukuran, masih terdapat sisa ukir belum terbakar sempurna oleh laser

- 3) Buruk

Hasil ukir belum sempurna dengan masih adanya sisa bahan material yang belum terbakar oleh laser, hasil ukir hangus terbakar oleh laser, hasil ukir tidak sesuai dengan ukuran yang dirancang



Gambar 24. Parameter Settings

Hasil dan Diskusi

Berikut adalah pembahasan pengujian mesin *engraving*, yang bertujuan untuk memperoleh data yang dibutuhkan sesuai dengan hasil yang diharapkan agar mesin *engraving* ini bisa digunakan dengan baik. Pada pengujian mesin *engraving* ini menggunakan dua bahan material yaitu lembaran akrilik dan lembaran PVC dengan ketebalan 2 mm. Gambar 25 menunjukkan mesin *engraving* yang telah dibangun oleh penulis.

A. Model Satu

Pengambilan data model satu menggunakan bahan material akrilik warna hitam dengan lapisan cat warna putih disalah satu sisinya. Menggunakan font Arial dengan ukuran 2.0 dan datanya bisa dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Data Engraving Model Satu

No	Input	Output	Hasil
1	TEST 1-1	TEST 1-1	Baik
2	TEST 1-2	TEST 1-2	Baik
3	TEST 1-3	TEST 1-3	Baik
4	TEST 1-4	TEST 1-4	Baik
5	TEST 1-5	TEST 1-5	Baik
6	TEST 1-6	TEST 1-6	Baik
7	TEST 1-7	TEST 1-7	Baik
8	TEST 1-8	TEST 1-8	Baik
9	TEST 1-9	TEST 1-9	Baik
10	TEST 1-10	TEST 1-10	Baik

B. Model Dua

Pengambilan data model dua menggunakan bahan material akrilik warna transparan dengan lapisan cat warna hitam disalah satu sisinya. Dengan menggunakan font Arial cetak terbalik (mirror) dengan ukuran 2.0.

Tabel 3. Data Engraving Model Dua

No	Input	Output	Hasil
1	TEST 2-1	TEST 2-1	Baik
2	TEST 2-2	TEST 2-2	Baik
3	TEST 2-3	TEST 2-3	Baik
4	TEST 2-4	TEST 2-4	Baik
5	TEST 2-5	TEST 2-5	Baik

6	TEST 2-6	TEST 2-6	Baik
7	TEST 2-7	TEST 2-7	Baik
8	TEST 2-8	TEST 2-8	Baik
9	TEST 2-9	TEST 2-9	Baik
10	TEST 2-10	TEST 2-10	Baik

Tabel 3 merupakan engraving model dua dengan pengambilan sample data sebanyak sepuluh kali. Hasil ukir yang didapat baik sesuai dengan input dari software, dengan karakter huruf dan angka yang dapat dibaca.

C. Model Tiga

Pengambilan data model tiga menggunakan bahan material PVC warna hitam dengan lapisan cat warna putih disalah satu sisinya. Menggunakan font Arial dengan ukuran 2.

Tabel 4 merupakan engraving model tiga dengan pengambilan sample data sebanyak lima kali. Hasil ukir yang didapat buruk untuk semua sample, data pada pengujian model tiga terdapat sisa hangus terbakar dari laser.

Tabel 4. Data Engraving Model Tiga

No	Input	Output	Hasil
1	TEST 3-1	TEST 3-1	Buruk
2	TEST 3-2	TEST 3-2	Buruk
3	TEST 3-3	TEST 3-3	Buruk
4	TEST 3-4	TEST 3-4	Buruk
5	TEST 3-5	TEST 3-5	Buruk

D. Model Delapan

Pengambilan data model delapan menggunakan bahan material PVC yang sama dengan pengujian pada model tiga. Dengan melakukan perubahan parameter daya dan kecepatan gerak laser masih sama dengan pen-

gujian sebelumnya yaitu 1000. Data hasil pengujian model delapan bisa dilihat pada Tabel 5.

Tabel 2. Data Engraving Model Delapan

No	Input	Output	Hasil
1	TEST 8-1	TEST 8-1	Buruk
2	TEST 8-2	TEST 8-2	Buruk
3	TEST 8-3	TEST 8-3	Buruk
4	TEST 8-4	TEST 8-4	Buruk
5	TEST 8-5	TEST 8-5	Baik

Tabel 5 merupakan *engraving* model delapan dengan pengambilan sample data sebanyak lima kali. Untuk hasil ukir sesuai dengan input pada program terbakar sempurna oleh laser, dengan terdapat beberapa bekas hitam sisa pembakaran yang membuat hasil ukir secara keseluruhan terlihat buruk seperti yang ditunjukkan pada Gambar 25.

E. Model sebelas

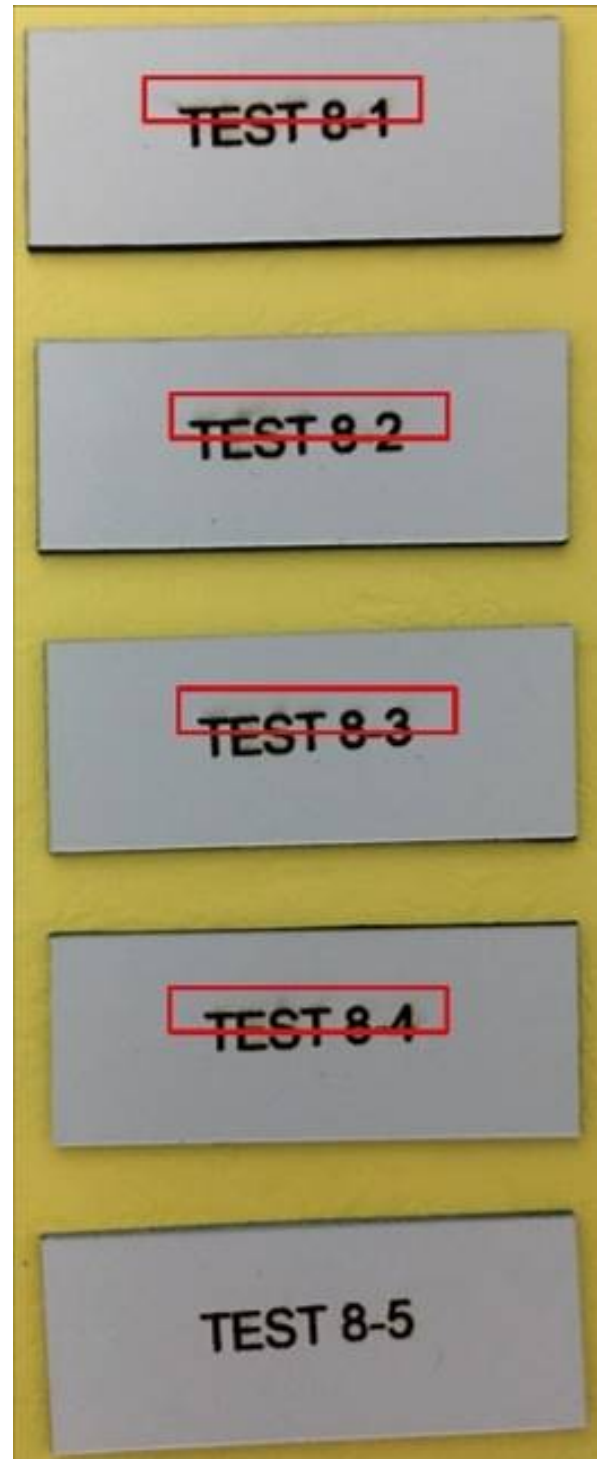
Pengambilan data model sebelas menggunakan bahan material PVC warna hitam dengan lapisan cat warna putih disalah satu sisinya. Menggunakan font Arial dengan ukuran 3.0 dan datanya bisa dilihat pada Tabel 6.

Tabel 3. Data Engraving Model Sebelas

No	Input	Output	Hasil
1	TEST 11-1	TEST 11-1	Baik
2	TEST 11-2	TEST 11-2	Baik
3	TEST 11-3	TEST 11-3	Baik
4	TEST 11-4	TEST 11-4	Baik
5	TEST 11-5	TEST 11-5	Baik

Tabel 6 merupakan *engraving* model sebelas dengan pengambilan sample data

sebanyak lima kali. Hasil ukir yang didapat bagus, bersih dari sisa terbakar laser, karakter tulisan huruf dan angka terlihat jelas



Gambar 9. Hasil Engraving Model Delapan

F. Model Duabelas

Pengambilan data model duabelas menggunakan bahan material PVC yang sama dengan pengujian pada model tiga. Dengan melakukan perubahan pada parameter daya laser diberi nilai 100 dan kecepatan gerak laser diberi nilai maksimal yaitu 3000, untuk mendapatkan data dari mesin engraver. Data hasil pengujian model duabelas bisa dilihat pada Tabel 7.

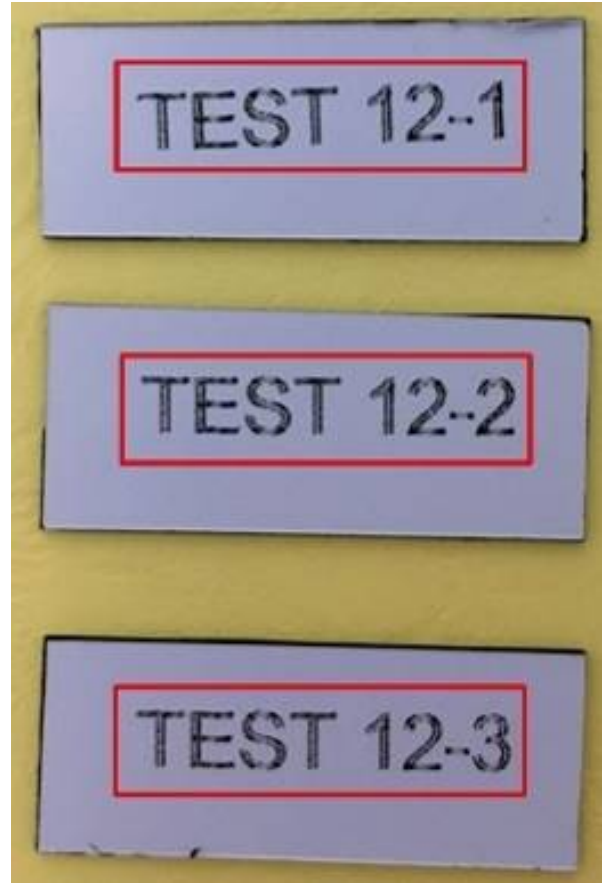
Tabel 7. Data Engraving Model Duabelas

No	Input	Output	Hasil
1	TEST 12-1	TEST 12-1	Buruk
2	TEST 12-2	TEST 12-2	Buruk
3	TEST 12-3	TEST 12-3	Buruk

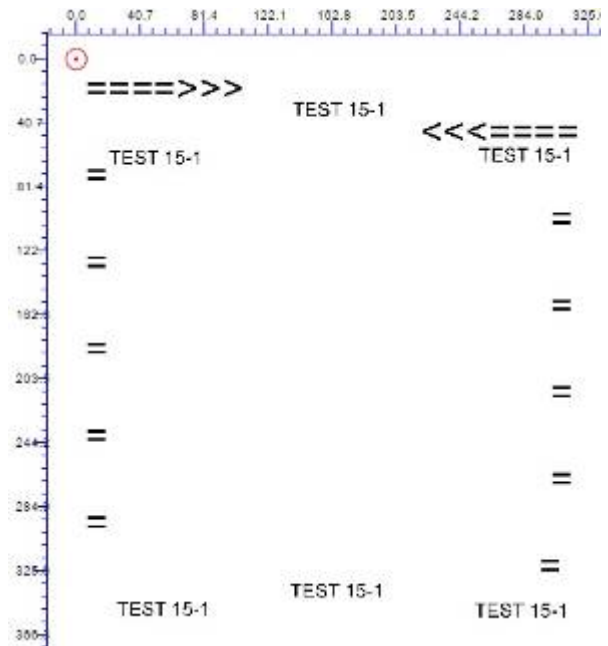
Tabel 7 merupakan engraving model duabelas dengan pengambilan sample data sebanyak tiga kali. Untuk hasil ukir sesuai dengan input pada program tetapi pembakaran oleh laser kurang sempurna, dengan terdapat beberapa bekas putih dimana bahan PVC belum terbakar secara keseluruhan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 26.

G. Model Empatbelas

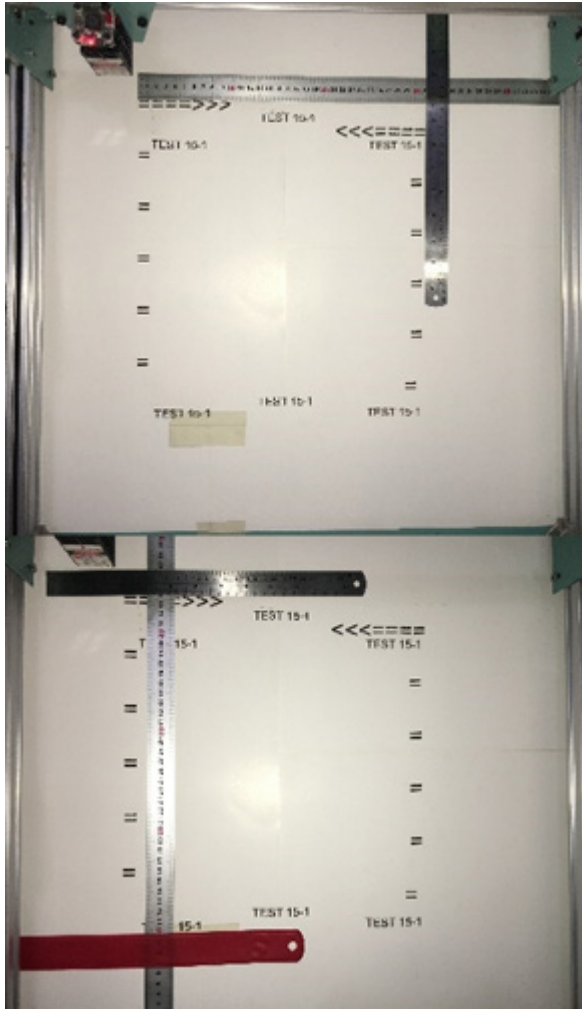
Pengambilan data model empat belas dilakukan untuk mengetahui kemampuan luas maksimal yang dapat diukir oleh mesin engraver. Dengan memasukan data dengan ukuran sebesar area kerja pada mesin engraving seperti pada Gambar 27, dan hasilnya ditunjukkan seperti pada Gambar 28. Dari pengujian model empatbelas yang dilakukan, penulis menemukan kelemahan dari aplikasi Benbox dimana input data yang dibuat tidak bisa melebihi ukuran sebesar 340 x 310 Milimeter persegi. Sementara area kerja yang tersedia pada mesin engraving sebesar 430 x 370 Milimeter persegi. Ketika penulis mencoba memasukan melebihi nilai diatas, program Benbox mengalami stuck (macet), dan penulis mesti melakukan restart pada programnya. Adapun data hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 8.



Gambar 26. Hasil Engraving Model Duabelas



Gambar 27. Data Input Pengujian Model Empatbelas



Gambar 28. Hasil Pengujian Model Empatbelas

Tabel 8. Data Hasil Pengujian Model Empatbelas

Kecepatan (mm/min)	1000					
Intensitas laser	100					
Data	Kiri atas	Kiri bawah	Tengah atas	Tengah bawah	Kanan atas	Kanan bawah
Hasil graving	Bagus	Bagus	Bagus	Bagus	Bagus	Bagus
Luas area maksimal bisa diukir						
Sejajar sumbu x (mm)	310	sejajar sumbu y (mm)				340

Dari pengujian dan pengambilan data pada mesin engraving yang penulis rancang bangun dapat mengukir bahan material dari akrilik dan PVC dengan baik. Untuk setiap material memiliki parameter tersendiri agar dapat menghasilkan

hasil ukir yang sempurna. Pada Tabel 9 menunjukkan hasil pengambilan data hubungan antara lama waktu pengerjaan dengan ukuran font yang digunakan pada saat mengukir. Pada Tabel 10 dan Tabel 11 menunjukkan data hasil mengukir dengan parameter pengujian mengubah intensity daya laser pada program Benbox.

Tabel 9. Ukuran Font dan waktu pengerjaan

Data	Model 2	Model 4	Model 5
Ukuran font	2.0	3.0	5.0
No. Test	Waktu pengerjaan (menit : detik)		
1	01:05	02:13	05:25
2	01:06	02:19	05:35
3	01:08	02:20	05:37
4	01:07	02:14	05:39
5	01:06	02:14	05:49
6	01:09	02:15	05:50
7	01:07	02:12	05:28
8	01:11	02:23	06:02
9	01:07	02:15	05:47
10	01:17	02:29	06:11

Tabel 10. Perubahan Intensity Daya Laser dengan Hasil Engraving

Data	Mod-el-6	Mod-el-7	Mod-el-8	Mod-el-9	Mod-el-10	Mod-el-11
Ukuran font	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	3.0
Kecepatan (mm/min)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Intensitas Laser	200	170	150	100	50	70
No. Test	Waktu pengerjaan (menit : detik)					
1	01:02	01:01	01:02	02:04	02:21	02:19
2	01:02	01:01	01:02	02:05	02:25	02:19
3	01:05	01:03	01:04	02:05	02:26	02:21
4	01:05	01:02	01:04	02:03	02:26	02:19
5	01:04	01:01	01:03	02:04	02:22	02:19
Hasil Graving	Buruk	Buruk	Buruk	Bagus	Buruk	Bagus

Tabel 4. Perubahan Intensity Daya laser dengan Hasil Engraving

Data	Model-12	Model-13
UkuranFont	3.0	3.0
Kecepatan (mm/min)	3000	3000
Intensitas laser	100	255
No. test	Waktu pengerjaan (menit:detik)	
1	02:02	02:02
2	02:02	02:01
3	02:02	02:03
Hasil graving	Buruk	Baik

Berdasarkan pengambilan data yang telah dilakukan, untuk bahan material dari akrilik dan PVC memiliki parameter pengaturan agar mendapatkan hasil ukir yang sempurna seperti yang ditunjukkan Tabel 12.

Tabel 12. Parameter Mesin *Engraving*

Material	Kecepatan (mm/min)	Intensitas daya laser
Akrilik	1000	255
PVC	1000	70-100

Simpulan

Dari hasil perancangan, pengujian serta pengoperasian mesin *engraving* laser yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Mesin *engraving* berbasis mikrokontroler sudah berhasil direalisasikan.
2. Dari hasil benda kerja yang diuji mesin *engraving* ini dapat mengukir bahan dari akrilik dan PVC.
3. Hasil cetak *engraving* sesuai dengan input yang dibuat pada software.
4. Pengujian dengan parameter intensitas daya laser dilakukan dengan memasukkan nilai input pada program Benbox. Untuk bahan material PVC nilai ideal 100, sementara untuk bahan akrilik adalah 255.
5. Pengujian dengan parameter intensitas daya laser dilakukan dengan memasukkan nilai input pada program Benbox. Untuk bahan material PVC nilai ideal 100, sementara untuk bahan akrilik adalah 255
6. Luas area benda kerja yang dapat diukir sebesar 340 x 310 Milimeter persegi.
7. Hasil analisis data pengujian kinerja mesin *engraving* didapat nilai parameter yang ideal untuk mengukir bahan material dari PVC dan akrilik.

Daftar Pustaka

[1]. Syahrul, "Motor *Stepper*: Teknologi, Metoda dan Rangkaian Kontrol," Majalah Ilmiah Unikom, vol. 6, no. 2, pp. 187-202, 2011.

[2]. Dalvi, Swapnil & Thigale, Deepti & Totre, Chetana & Auti, Harshada & Maske, Yogesh. (2021). DESIGN, TESTING AND SIMULATION OF COST EFFECTIVE LASER ENGRAVING MACHINE.

[3]. Lee, Dr. (2012). *Engravers*. 10.1007/978-3-642-02035-3_149.

[4]. Matthew Grant, "Quick Start for Beginners to Drive a *Stepper* Motor," in AN2974, Colorado, Freescale Semiconductor, 2005, pp. 1-16.

[5]. D. P. SMK, Teknik Pemesinan CNC Da-sar Kelas XII Semester 5, Bandung: Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan, 2013.

[6]. TOSHIBA Corporation, "TB6560AHQ/AFG," in BiCD Integrated Circuit Silicon Monolithic, Tokyo, TOSHIBA, 2014, pp. 1-34.

[7]. W. P. Hariati, "Rancang Bangun Laser Untuk Pembelajaran Optika Dalam Menentukan Indeks Bias Dan Difraksi Kisi," Jurnal Science Tech Vol. 1, No. 1, Agustus 2015, pp. 77-82, Agustus 2015.

[8]. Minarni, Saktiono and G. Lestari, "Pengukuran Panjang Gelombang Cahaya Laser Dioda Menggunakan Kisi Difraksi Refleksi Dan Transmisi," Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung, pp. 167-171, 2013.

[9]. Coherent, Inc. 2016 "Advances in laser diode and OPSL technologies" render ion and metal vapor la-sers obsolete, (<https://cohrcdn.azureedge.net/assets/pdf/Advances-inLaser-Diode-and-OPSL-Technologies.pdf>)

[10]. Khandpur, R.S. (2020). Laser, Diode. In Compendium of Biomedical Instrumentation, R.S. Khandpur (Ed.). <https://doi.org/10.1002/9781119288190.ch212>

[11]. Administrator, "What is a Laser Diode? Its Working, Construction, Different Types and Uses," 20 January 2018. [Online]. [Accessed 14 June 2021].

[12]. D. P. SMK, Teknik Pemesinan CNC Dasar Kelas XII Semester 5, Bandung: Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan, 2013.

[13]. Sreekanth, Dr & Vijayakumar K, Dr & Paramesh, T & Rao, Chundru & Allurkar, Dr & Naik, B & Kumar, G. (2020). Design and Fabrication of Laser *Engraver*.