

**RANCANG BANGUN MESIN *COMPUTER NUMERICAL CONTROL*
(CNC) *LASER CUTTER* 3 AXIS MENGGUNAKAN BREAKOUT BOARD
USB MACH3 DAN MOTOR STEPPER NEMA 23**

(Skripsi)

Oleh

Intan Permatasari

1917041065



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN MESIN *COMPUTER NUMERICAL CONTROL* (CNC) *LASER CUTTER* 3 AXIS MENGGUNAKAN BREAKOUT BOARD USB MACH3 DAN MOTOR STEPPER NEMA 23

Oleh

Intan Permatasari

Penelitian ini telah merealisasikan rancangan sistem mekanik dan sistem kontrol mesin *Computer Numerical Control* (CNC) *laser cutter* 3-axis. Penelitian ini bertujuan untuk merakit rangkaian elektronik dan kerangka mekanik mesin CNC *laser cutter*. Selain itu, tujuan dari penelitian ini juga untuk menentukan keakuratan pergerakan mesin CNC *laser cutter* yang telah dibuat. Pada rancangan sistem mekanik mesin CNC *laser cutter* 3-axis, bahan utama yang digunakan yaitu besi holo dan plat besi, jenis *laser* yang digunakan yaitu modul *laser* dioda 40 W. Pada rancangan sistem kontrolnya menggunakan mikrokontroler USB Mach3 yang berguna untuk mengontrol gerakan mesin CNC pada sumbu-X dan Y, dengan komponen pendukungnya yaitu *driver* motor TB6600 berguna untuk mengendalikan kerja motor *stepper* dan motor *stepper* Nema-23 berguna untuk menggerakkan mekanisme mesin CNC. Berdasarkan hasil penelitian, mesin CNC *laser cutter* ini dapat berjalan dengan baik. Pada pengujian pergerakan motor *stepper* menghasilkan nilai rata-rata akurasi pada sumbu-X sebesar 99,3% dan sumbu-Y sebesar 99,2%. Pada pengujian *feedrate* menghasilkan bahwa kecepatan mesin CNC yang terbaik untuk memotong benda kerja yaitu pada kecepatan 35 mm/min dengan jumlah pengulangan hanya satu kali. Pengujian luas persegi yang berbeda-beda menghasilkan bahwa luas persegi terbesar yang dapat dipotong dengan kecepatan 35 mm/min yaitu pada luas persegi sebesar 900 mm². Pengujian kemampuan *laser* menghasilkan bahwa ketinggian *laser* atau jarak *laser* dengan benda kerja yang tepat untuk memotong benda dengan hasil potongan yang bagus yaitu pada jarak 20 mm dari akrilik.

Kata kunci: CNC, *Laser*, Nema-23, TB6600, USB Mach3.

ABSTRACT

DESIGN OF A 3 AXIS COMPUTER NUMERICAL CONTROL (CNC) LASER CUTTER MACHINE USING BREAKOUT BOARD USB MACH3 AND MOTOR STEPPER NEMA 23

By

Intan Permatasari

This research has realized the design of mechanical and control system of 3-axis Computer Numerical Control (CNC) laser cutter machine. This research purposes to assemble the electronic circuit and mechanical frame of CNC laser cutter machine. Besides that, the purpose of this research is also to measure the accuracy of the movement of CNC laser cutter machine. In the design of the mechanical system of the 3-axis CNC laser cutter machine, the main materials used is holo iron and plate iron, the type of laser used is a 40 W diode laser module. In the design of the control system using a USB Mach3 microcontroller which is useful for controlling CNC machine movements in the X and Y-axis, with supporting components, namely the TB6600 motor driver useful for controlling the work of stepper motors and Nema-23 stepper motors useful for moving the CNC machine mechanism. Based on the results, this CNC laser cutter machine can run well. By testing the movement of the stepper motor produces an average value of accuracy in the X-axis of 99.3% and the Y-axis of 99.2%. The feedrate test results show that the best CNC machine speed for cutting workpieces is at a speed of 35 mm/min for one repetition. Testing different square areas results in that the largest square area that can be cut at a speed of 35 mm/min is at a square area of 900 mm². Testing the ability of the laser results in that the laser height or laser distance with the right workpiece to cut objects with good cut results is at a distance of 20 mm from acrylic.

Keywords: CNC, *Laser*, Nema-23, TB6600, USB Mach3.

**RANCANG BANGUN MESIN *COMPUTER NUMERICAL CONTROL*
(CNC) *LASER CUTTER 3 AXIS* MENGGUNAKAN BREAKOUT BOARD
USB MACH3 DAN MOTOR STEPPER NEMA 23**

Oleh

Intan Permatasari

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi : Rancang Bangun Mesin *Computer Numerical Control (CNC) Laser Cutter 3 Axis* Menggunakan *Breakout Board USB Mach3* Dan Motor *Stepper Nema 23*


Nama Mahasiswa : Intan Permatasari

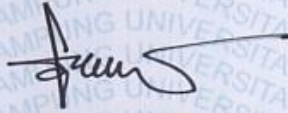
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917041065

Jurusan : Fisika


Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.
NIP. 198206182008121001


Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 198010102005011002

2. Ketua Jurusan Fisika


Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 198010102005011002

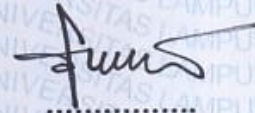
MENGESAHKAN

1. Tim penguji

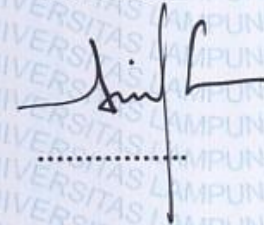
Ketua : **Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.**



Sekretaris : **Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Arif Surtono S.Si., M.Si., M.Eng.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 22 Januari 2024

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 15 Februari 2024



Intan Permatasari
NPM.1917041065

RIWAYAT HIDUP



Intan Permatasari lahir di Garut pada tanggal 07 Februari 2002. Penulis merupakan anak pertama dari 3 bersaudara dari pasangan Bapak Edi Junaedi dan Ibu Sundari. Penulis menyelesaikan pendidikan di RA Salafiyah pada tahun 2007, SDN Karang Sari 3 pada tahun 2013, SMPN 1 Leles pada tahun 2016 dan SMAN 2 Garut pada tahun 2019. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN tahun 2019. Penulis juga menempuh pendidikan non-formal di Pondok Pesantren Darussa'adah K.H Asyikin yang berlokasi di Gunung Terang, Langkapura.

Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung, penulis aktif tergabung sebagai anggota Bidang Kaderisasi Keluarga Mahasiswa Nahdlatul Ulama (KMNU) dengan masa periode kepengurusan dari tahun 2019 – 2022 dan anggota Biro Kesekretariatan dan Rumah Tangga (KRT) Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) tahun 2020 - 2022. Penulis juga sebagai asisten praktikum mata kuliah Fisika Dasar pada tahun 2022.

Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Stasiun Meteorologi Kelas I Radin Inten II, Lampung Selatan, dengan judul **“Analisis Perbandingan Efektivitas Alat Penakar Curah Hujan Digital Dan Konvensional Pada BMKG Stasiun Meteorologi Kelas I Radin Inten II Di Lampung Selatan”**. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat penuh penulis ikuti dalam program Kuliah Kerja Nyata Universitas Lampung tahun 2022 di Pekon Tegal Binangun, Kecamatan Sumberejo, Kabupaten Tanggamus. Penulis melaksanakan penelitian untuk

menyusun skripsi dengan judul “**Rancang Bangun Mesin *Computer Numerical Control (CNC) Laser Cutter 3 Axis Menggunakan Breakout Board USB Mach3 dan Motor Stepper Nema 23*** dibawah bimbingan Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc., dan Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.

MOTTO

اعلم بان طالب العلم لا يتال العلم ولا ينفع به الا بتظيم العلم وأهله وتعظيم الأستاذ وتوقيره

“Ketahuilah, bahwa sesungguhnya seorang pelajar tidak akan bisa mendapatkan ilmu dan manfaat ilmu kecuali dengan menghormati ilmu dan orang yang berilmu, memuliakan guru dan menghormatinya ”

- Ta’lim Muta’alim fi Thariqit Ta’allum

"Barang siapa belum merasakan pahitnya belajar walau sebentar, maka akan merasakan hinanya kebodohan sepanjang hidupnya”

- Imam Syafi’i

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, kupersembahkan skripsi ini
kepada :

Bapak Edi Junaedi dan Ibu Sundari

Kedua orang tuaku yang telah melahirkan, membesarkan, dan mendidiku, serta
menjadi penyemangatku dalam menjalani hidup selama ini

Bapak/Ibu Dosen FISIKA FMIPA UNILA

Terima kasih telah memberikan bekal ilmu pengetahuan, nasihat, dan saran yang
membangun kepadaku

Muhammad Rifqi Andhika dan Ahmed Justin Al-Khasyí

Adikku tersayang yang telah memberikan dukungan dan motivasi sehingga
membuat aku mampu menyelesaikan pendidikan S1

Rekan-rekan seperjuangan Fisika Angkatan 2019

Almamater Tercinta
UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT. Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Rancang Bangun Mesin *Computer Numerical Control (CNC) Laser Cutter 3 Axis Menggunakan Breakout Board USB Mach3 dan Motor Stepper Nema 23***”. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kesalahan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan untuk memperbaiki skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bukan hanya untuk penulis, tapi juga untuk para pembaca.

Bandar Lampung, 15 Februari 2024
Penulis,

Intan Permatasari

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Rancang Bangun Mesin Computer Numerical Control (CNC) Laser Cutter 3 Axis Menggunakan Breakout Board USB Mach3 dan Motor Stepper Nema 23**”. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari tidak sedikit hambatan dan kesulitan yang dihadapi, namun berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing, memberikan ilmu dan mengarahkan dalam proses penyusunan skripsi.
2. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing, memberikan ilmu, motivasi serta arahan dalam proses penyusunan skripsi.
3. Bapak Arif Surtono S.Si., M.Si., M.Eng., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran dan masukan sehingga penulisan skripsi ini menjadi lebih baik.
4. Bapak Iqbal Firdaus S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik dan Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa di Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
6. Seluruh Dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu selama menjadi mahasiswa di Universitas Lampung.

7. Para Tenaga Kependidikan Jurusan Fisika yang telah membantu memenuhi kebutuhan administrasi penulis.
8. Orang tua Bapak Edi Junaedi dan Ibu Sundari yang senantiasa memberikan doa, semangat, motivasi, pengorbanan, nasihat serta kasih sayang kepada penulis.
9. Guru Abah K. H. Muhammad Fakhrurijal Husin S.Sos dan Umi Siti Fatimah yang senantiasa mendo'akan, memberikan nasihat, motivasi serta perhatian kepada penulis.
10. Muhammad Rifki Andhika dan Ahmed Justin Al-Khasyi sebagai adik yang selalu memberikan semangat dan dorongan kepada penulis.
11. Tim penelitian, Amapel Odenia dan Hesti Wahyu Handani yang telah menemani, membantu dan memberikan semangat selama proses penelitian berlangsung.
12. Teman-teman di luar kampus, Lisnawati, Endang Fitriani, Siti Asfiatul Mukharomah dan Nur Astina yang memberikan dukungan dan semangat kepada penulis selama menyelesaikan studi.
13. Teman-teman seperjuangan Fisika 19, khususnya Bernitha, Jihan, Dwina, Laras, Lidya, Zakiya, Monica, Afifah, Lisana, Kurnia, Faris, Haposan, Rahmat, Tamado, Adhito dan Rifki yang telah memberikan bantuan, dan semangat kepada penulis selama menyelesaikan studi.
14. Seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, Malik Ibrahim Saleh yang telah menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis, support system, pendengar keluh kesah, penasehat yang baik dan senantiasa mendo'akan selama penyusunan skripsi ini.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dengan yang lebih baik, mempermudah segala urusannya dan menjadi pemberat amal di akhirat nanti.

Bandar Lampung, 07 Februari 2024

Penulis,

Intan Permatasari

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
COVER DALAM	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Batasan Masalah	5
1.5. Manfaat Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	7
2.2 Mesin CNC	12
2.3 <i>LASER</i>	14
2.4 <i>CNC Laser Cutter</i>	15
2.5 <i>CNC Router</i>	17
2.6 <i>CNC Milling</i>	18

2.7 Driver Motor	19
2.8 Motor Stepper	21
2.9 Power Supply	24
2.10 Spindle	25
2.11 Breakout Board Mach3	26
2.12 Software Mach3	27
2.13 Software Aspire	28
2.14 Uji Kalibrasi	30
III. METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	32
3.2 Alat dan Bahan	32
3.2.1 Alat	32
3.2.2 Bahan	34
3.2.3 Perangkat Lunak	35
3.3 Prosedur Penelitian	35
3.3.1 Perancangan Sistem Mesin CNC <i>Laser Cutter</i> 3-Axis	36
3.3.2 Perancangan Desain Mesin CNC <i>Laser Cutter</i>	38
3.3.3 Skematik Rangkaian Elektronik Mesin CNC <i>Laser Cutter</i>	39
3.3.4 Skematik Rangkaian <i>Laser</i>	41
3.3.5 Pengujian Mesin CNC <i>Laser Cutter</i>	42
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Implementasi Perancangan Sistem Mekanik	45
4.1.1 Gerakan Statis pada Mesin CNC <i>Laser Cutter</i>	46
4.1.2 Gerakan Dinamis pada Mesin CNC <i>Laser Cutter</i>	47
4.2 Implementasi Perancangan Sistem Kontrol	50
4.3 Pengaturan Kalibrasi Mesin CNC <i>Laser Cutter</i>	52
4.4 Pengaturan Desain Bentuk pada Aplikasi <i>Aspire</i>	56
4.5 Analisis Data Hasil Pengujian Mesin CNC <i>Laser Cutter</i>	59
4.5.1 Pengujian Pergerakan Motor <i>Stepper</i> Sumbu-X	60
4.5.2 Pengujian Pergerakan Motor <i>Stepper</i> Sumbu-Y1 dan Y2	63
4.5.3 Pengaruh Ketinggian <i>Laser</i> terhadap Tertembus dan Terpotong pada Benda Kerja	66
4.5.4 Pengaruh Variasi <i>Feedrate</i> terhadap Waktu	72
4.5.5 Pengaruh Variasi <i>Feedrate</i> terhadap Jumlah Pengulangan	74
4.5.6 Pengaruh Luas Persegi terhadap Jumlah Pengulangan	77
V. SIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Simpulan	82
5.2 Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Hasil Akhir Rancangan CNC <i>Cutter Laser</i>	8
Gambar 2.2 Data Hasil Uji <i>Laser Dioda</i>	9
Gambar 2.3 Hasil Pengujian <i>Laser Diode 15 watt</i>	10
Gambar 2.4 Modul <i>Laser Dioda 40 W</i>	15
Gambar 2.5 Driver Motor TB6600.....	21
Gambar 2.6 Kontruksi Dasar Stepper Motor.....	23
Gambar 2.7 a) Stepper Motor Nema 23 b) Ukuran Stepper Motor	23
Gambar 2.8 Port <i>Power Supply 24 volt</i>	24
Gambar 2.9 Port Konektor <i>Breakout Board Mach3</i>	26
Gambar 2.10 Tampilan Utama Mach3	27
Gambar 2.11 Tampilan Utama <i>Software Vetric Aspire</i>	29
Gambar 2.12 Pengaturan Mach3 Untuk Kalibrasi.....	31
Gambar 3.1 Diagram Alir Rancangan Mesin CNC.....	36
Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem CNC <i>Laser Cutter</i>	37
Gambar 3.3 Desain Mesin CNC <i>Laser Cutter</i> Tampak Samping	38
Gambar 3.4 a) Kotak Komponen Elektronik b) Kerangka Mesin CNC <i>Laser Cutter 3-Axis</i>	39
Gambar 3.5 Rangkaian Elektronik Sistem Kontrol Mesin CNC.....	40
Gambar 3.6 Rangkaian Elektronik Modul <i>Laser 40 W</i>	42
Gambar 3.7 Grafik Data Hasil Pengujian Mesin CNC <i>Laser Cutter</i>	44
Gambar 4.1 Rancangan Mesin CNC <i>Laser Cutter 3-Axis</i>	45
Gambar 4.2 a) Kaki <i>Mounting</i> Dudukan <i>Bracket</i> Nema 23 b) <i>Shaft</i> <i>Bracket Holder</i> Dudukan <i>Rail</i> c) <i>Linear Bearing</i> Sbr12 d) <i>Linear Guide</i> <i>Shaft</i> e) <i>Bracket Pulley</i> f) Plat Besi Untuk Tumpuan <i>Laser</i>	46

Gambar 4.3 a) <i>Timing Bel</i> b) <i>Idler Pulley</i> Bergigi Bore c) Modul <i>Laser</i> 40 W d) Motor <i>Stepper</i> Nema 23.....	48
Gambar 4.4 Kerangka Mesin CNC <i>Laser Cutter</i> 3-Axis	49
Gambar 4.5 Kotak Elektronik Mesin CNC <i>Laser Cutter</i> Bagian Dalam	51
Gambar 4.6 Kotak Elektronik Mesin CNC <i>Laser Cutter</i> Bagian Depan	52
Gambar 4.7 Fitur Menu Setting Alt6.....	53
Gambar 4.8 a) <i>Axis Selection</i> b) Input Nilai Perpindahan	53
Gambar 4.9 Fitur <i>Spindle Pulley</i>	54
Gambar 4.10 Fitur Menu Utama MDI Alt2 pada Mach3	55
Gambar 4.11 Tampilan Fitur Simulasi <i>Calculate Toolpath</i>	56
Gambar 4.12 Tampilan Langkah Fitur <i>Save Toolpath</i>	57
Gambar 4.13 Tampilan <i>G-Code</i> dan <i>M-Code</i> Hasil Konversi <i>Aspir</i>	58
Gambar 4.14 Hasil Pemotongan Garis Horizontal Pada Sumbu-X.....	61
Gambar 4.15 Grafik Hasil Pengujian Pada Sumbu-X	63
Gambar 4.16 Hasil Pemotongan Garis Vertikal Pada Sumbu-Y	64
Gambar 4.17 Grafik Hasil Pengujian Pada Sumbu-Y1 dan Y2	66
Gambar 4.18 Ilustrasi Gambar Pengujian Ketinggian <i>Laser</i> Dengan Akrilik..	67
Gambar 4.19 Hasil Potongan Persegi: a) Jarak 5 mm b) Jarak 10 mm c) Jarak 15 mm d) Jarak 20 mm e) Jarak 25 mm f) Jarak 30 mm g) Jarak 35 sampai 65 mm.....	70
Gambar 4.20 Grafik Hasil Pengujian <i>Feedrate</i> Terhadap Waktu	74
Gambar 4.21 Grafik Hasil Pengujian <i>Feedrate</i> terhadap Jumlah Pengulangan	77
Gambar 4.22 Ilustrasi Gambar Pengujian Variasi Luas Persegi.	78
Gambar 4.23 Grafik Hasil Pengujian Luas Persegi Terhadap Jumlah Pengulangan	81

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Spesifikasi Modul <i>Laser</i> 40 W	15
Tabel 3.1 Alat-Alat Penelitian	32
Tabel 3.2 Bahan-Bahan Penelitian	34
Tabel 3.3 Perangkat Lunak	35
Tabel 3.4 Data Pengujian Pergerakan Sumbu-X	42
Tabel 3.5 Data Pengujian Pergerakan Sumbu-Y	43
Tabel 3.6 Hasil Bentuk Persegi yang Dipotong Mesin CNC <i>Laser Cutter</i>	44
Tabel 4.1 Spesifikasi Mesin CNC <i>Laser Cutter 3-Axis</i>	50
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Pada Sumbu-X	62
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Pada Sumbu-Y1 dan Y2	65
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Tinggi <i>Laser</i> Terhadap Tembus dan pada Terpotong Benda Kerja	69
Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Kecepatan Mesin CNC Terhadap Waktu	73
Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Kecepatan Mesin CNC Terhadap Jumlah Pengulangan	76
Tabel 4.7 Data Hasil Pengujian Luas Persegi Terhadap Jumlah Pengulangan .	80

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada era saat ini Indonesia sudah memasuki revolusi industri 4.0 dalam aspek ilmu pengetahuan dan teknologi juga berkembang sangat pesat, diantaranya di bidang mekanika dan elektronika. Salah satu syarat untuk dapat bersaing di era revolusi industri 4.0 adalah dengan membuat alat atau mesin yang berbasis teknologi robotik dan sensor (Kemenperin, 2018). Dahulu di dunia industri, sistem kerjanya masih menggunakan tenaga manual dimana peran manusia sangat dominan, namun pada saat ini sistem tersebut telah beralih ke sistem otomatis dengan penggunaan robot. Oleh karena masyarakat di era modern ini ingin hal yang cepat dan praktis, maka diperlukan dukungan dan ketersediaan peralatan pendukung kinerja di industri modern, antara lain mesin-mesin CNC (*Computer Numerical Control*) (Suharto *et al.*, 2021) Saat ini, mesin CNC tidak hanya digunakan oleh perusahaan industri manufaktur, tetapi juga digunakan oleh institusi pendidikan seperti perguruan tinggi untuk pengembangan riset. Lembaga pendidikan, terutama perguruan tinggi, biasanya menggunakan mesin CNC *Turning Training* unit 2-axis dan *Milling Training* unit 3-axis untuk praktikum dan pengembangan penelitian mahasiswa. Namun, tidak banyak perguruan tinggi yang memiliki mesin CNC 4-axis atau 5-axis (Syahriza, 2015).

Alat potong mekanis yang sudah otomatisasi, termasuk yang berbasis CNC. CNC adalah mesin yang dikendalikan secara numerik oleh komputer atau mikrokontroler. Karena operasi mesin secara manual oleh manusia memiliki banyak keterbatasan, CNC dikendalikan secara numerik oleh komputer atau mikrokontroler sehingga pergerakan sumbu-X, Y serta Z dapat dikendalikan secara akurat sesuai perintah yang diberikan (Suroso *et al.*, 2017).

Untuk menyelesaikan konstruksi mekanik mesin CNC, sistem kontrol diperlukan. Sistem kontrol ini akan berfungsi sebagai otak mesin dan melaluinya seluruh parameter pemesinan akan diatur dan dioperasikan. Agar mesin ini pada akhirnya dapat berperilaku seperti mesin modern yang dapat beroperasi dalam tiga sumbu (Sutisna dan Fauzi, 2018).

Mesin CNC memiliki dua atau lebih sumbu, yang disebut *axis*. Sumbu ini dapat berupa huruf X, Y, dan Z, dan biasanya memiliki gerakan linear atau melingkar. Banyak sumbu dan kombinasi gerakan pada setiap sumbu adalah salah satu ciri yang menunjukkan bahwa mesin CNC sangat kompleks (Widiyanto, 2018). Mesin CNC 3-*axis* memiliki tiga sumbu penggerak: sumbu-X berfungsi sebagai penggerak kanan kiri, sumbu-Y berfungsi sebagai penggerak maju mundur, dan sumbu-Z berfungsi sebagai penggerak naik turun. Mesin ini paling sederhana dan digunakan untuk media datar yang ingin diukir atau digrafi menjadi bentuk timbul tiga dimensi. Mesin CNC lima sumbu adalah yang paling kompleks karena menggunakan lima sumbu penggerak, yaitu sumbu A dan B, serta sumbu-X, Y dan Z. Sumbu-X, Y dan Z bekerja sama seperti mesin tiga sumbu, dengan sumbu-A berfungsi sebagai penggerak berputar horizontal dan sumbu-B berfungsi sebagai penggerak berputar vertikal. Mesin ini dapat dibuat di media datar, silinder, atau media keseluruhan dengan sumbu penggerak yang paling kompleks (Desphande, 2018).

Di Indonesia, penggunaan mesin CNC terus meningkat setiap tahunnya. Saat ini, mesin CNC mini *router 3-axis* yang dijual oleh berbagai merk cukup mahal, sehingga institusi pendidikan tinggi dan lingkungan kampus tidak dapat membelinya. Akibatnya, banyak siswa yang hanya mempelajari teori mesin CNC dan tidak mendapatkan banyak ilmu (Pramono *et al.*, 2018).

Aplikasi *laser* telah banyak digunakan dalam berbagai bidang seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. *Laser engraving, marking* dan *cutting* adalah beberapa contoh aplikasi pengolahan *laser*. Dewasa ini, *laser engraving* digunakan pada material, terutama dalam proses manufaktur. Teknik *laser engraving* memiliki keunggulan dibandingkan dengan metode konvensional, yaitu

pengerjaan yang lebih tepat dan proses *gravir* yang lebih presisi karena dikontrol secara otomatis menggunakan sistem CNC. Untuk melakukan proses *gravir* dengan menggunakan *laser*, sistem kontrol harus memiliki parameter yang tepat untuk menjalankan mesin *laser* agar berfungsi dengan baik dan benar. Parameter-parameter ini termasuk jenis *laser*, daya, kecepatan, jarak fokus atau *head* dari benda kerja. Semua ini diperlukan untuk proses *gravir* yang berkualitas tinggi (Sutisna dan Fauzi, 2018).

Mesin CNC yang sesuai lebih efisien dalam mengerjakan berbagai bentuk material. Seperti pipa *acrylic*, *laser* dapat memotong material secara konstan dan stabil. Mesin CNC *laser* tidak umum di industri. Karena banyak orang tidak tahu tentang teknologi CNC *laser machine*. Faktor harga yang relatif tinggi merupakan alasan tambahan. Rancangan CNC *laser* diharapkan dapat menyelesaikan masalah tersebut. Mesin CNC *laser* memiliki manfaat bagi kebutuhan industri dan dibuat dengan jenis komponen yang terjangkau. Mesin CNC *laser* ini dapat memotong material silindris dengan pemotongan sederhana atau kompleks, meningkatkan efisiensi pengerjaan produk. Nilai produktivitas akan ditingkatkan oleh efisiensi ini (Kurniawan *et al.*, 2020).

Material yang dapat diproses dengan *gravir* metal atau non-metal tergantung pada jenis *laser* yang digunakan. Kecepatan gerak *laser* memengaruhi kekasaran hasil *gravir* pada permukaan benda kerja. Daya *laser* memengaruhi kemampuan *gravir* terhadap material, dan jarak kepala *laser* dari mesin *gravir* memengaruhi titik fokus yang dihasilkan selama proses *gravir*. Jadi, dengan menggunakan parameter yang tepat untuk jenis material, dapat mengurangi kerugian yang disebabkan oleh cacat atau kerusakan pada hasil *gravir laser* (Sutisna dan Fauzi, 2018). Prinsip pemotongan *laser* adalah komputer mengarahkan sinar *laser* dengan daya tinggi ke objek yang akan dipotong. Pada mesin CNC milling, teknologi pemotongan *laser* dapat memotong bentuk yang sulit diproses. Hasil dengan tingkat akurasi 0,001 mm cukup akurat. Dioda pemotongan *laser* memiliki frekuensi sekitar 1014 Hz hingga 15 Hz, yang merupakan ratusan ribu kali frekuensi gelombang mikro. Cahaya ini digunakan untuk memotong berbagai bahan, seperti akrilik dan plat besis (Hasibuan *et al.*, 2019).

Pada penelitian (Al Habsi dan Rameshkumar, 2016) telah mempresentasikan desain dan fabrikasi mesin CNC 3-axis bertenaga *laser* yang terdiri dari penggunaan *Graphical User Interface* (GUI) dan mikrokontroler arduino untuk menghasilkan keluaran *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk menjalankan motor *stepper* yang akan digunakan dalam pengoperasian. Desain dan fabrikasi mini CNC dengan ruang kerja 130 mm x 130 mm menggunakan motor *stepper* presisi yang dipadukan dengan sabuk dan kontrol membantu menggerakkan sumbu dengan mulus pada bantalan linearitas yang meningkatkan hasil yang diperoleh lebih presisi.

Perancangan CNC *laser* yang dilakukan (Muchlis *et al.*, 2021) menggunakan metode *Design For DFA Assembly Boothroyd* (DFA), *G-Code* dan *Closed Loop System* (Loop Tertutup). Kelebihan metode ini yaitu mengestimasi pengurangan waktu perakitan. Metode *G-Code* lebih ke menyatukan gerakan yang akan di lakukan mesin, seperti bergeser ke titik A, titik B. Kemudian pada metode *Closed Loop System* (Loop Tertutup) bekerja mengirim sinyal umpan balik ke pengendali untuk mengecilkan kesalahan sistem.

Penelitian (Syaifullah *et al.*, 2021) bertujuan mendesain mesin CNC *Laser Cutting* bersifat portable, alat ini menggunakan *laser* sebagai alat potong untuk mengerjakan benda kerja, dengan ukuran *laser* berdiameter 0,02 mm dengan perancangan modul *laser* serta, perancangan sistem gerak 3-axis, perancangan daya motor serta mensimulasikan frame dengan menggunakan metode elemen.

Berdasarkan penelitian Al Habsi dan Rameshkumar (2016), penelitian Muchlis *et al.* (2021) dan penelitian Syaifullah *et al.* (2021) masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, peneliti akan melakukan penelitian tentang rancang bangun mesin CNC *Laser Cutter 3-axis* menggunakan *Breakout Board* USB Mach3 dan Motor *Stepper* Nema-23 dengan Aplikasi Mach3. *Breakout board* USB Mach3 berfungsi sebagai kontroler karena dapat menghubungkan hingga empat *axis* dan dapat mengontrol CNC secara *real-time* dengan aplikasi Mach3. Motor *stepper* Nema-23 yang akan digunakan memiliki kapasitas *peak current* yang lebih besar, yang memungkinkan *driver* motor seri TB6600 untuk mengangkat motor *stepper*

Nema-23, yang menghasilkan gerakan presisi. Menggunakan daya *laser* sebesar 40 W, yang mana keluaran cahaya *laser* diatur oleh PWM dan *relay*. Setelah rancangan selesai, Sumbu-X dan Y diuji dengan menggunakan Mach3. Setelah mesin berfungsi dengan baik dan menghasilkan nilai akurasi, data dikumpulkan dan hasilnya dianalisis.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana proses perakitan rangkaian elektronik dan kerangka mekanik mesin CNC *laser cutter*?
2. Bagaimana cara menentukan keakuratan pergerakan mesin CNC *laser cutter*?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang akan diteliti, maka tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Merakit rangkaian elektronik dan kerangka mekanik mesin CNC *laser cutter*.
2. Menentukan keakuratan pergerakan mesin CNC *laser cutter*.

1.4. Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak menyimpang dan membahas luas dari tujuan sangat penting untuk menyatakan batasan masalah. Adapun batasan masalah dari sistem yang dirancang ini sebagai berikut:

1. CNC *laser cutter* 3-axis menggunakan sistem gerak dengan Sumbu-X dan Y.
2. Perancangan sistem kontrol CNC *laser cutter* 3-axis menggunakan *breakout board* USB Mach3, motor *stepper* Nema-23 dan modul *driver* motor TB6600.
3. Sistem kontrol CNC *laser cutter* 3-axis menggunakan *software* Mach3 dan *software* *Aspire*.
4. Kemampuan *cutting* pada mesin CNC *laser cutter* 3-axis ini mampu memotong pada kedalaman bahan uji 3 mm.
5. Menggunakan *laser cutting* dengan daya sebesar 40 W.

6. Pengujian sistem mekanik dari rancang bangun ini dengan menguji keakurasian mesin yang telah dibuat.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Menambah pengetahuan tentang mesin CNC sebagai metode yang efisien dalam membantu industri manufaktur.
2. Meningkatkan ilmu pengetahuan dibidang proses manufaktur.
3. Menjadikan sebagai media pembelajaran dalam pengembangan riset dan praktikum lembaga pendidikan perguruan tinggi.
4. Mendapatkan kreatifitas dalam pengembangan perancangan desain mesin CNC yang efektif.
5. Menjadikan sebagai referensi peneliti dalam melakukan penelitian selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

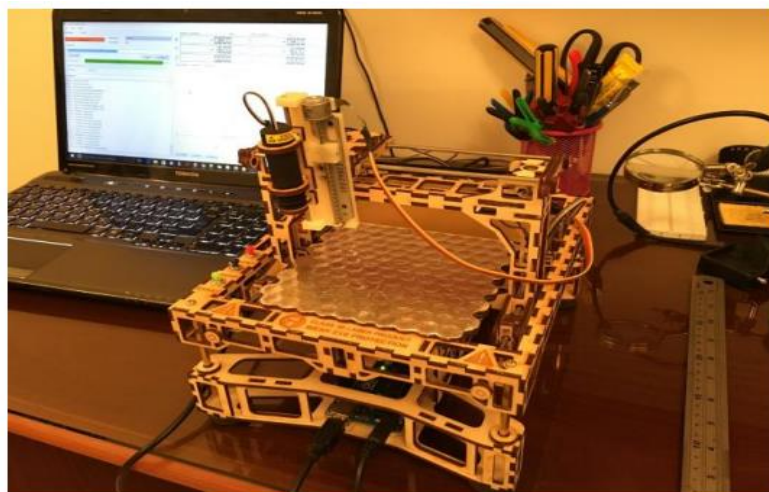
2.1 Penelitian Terkait

Saat ini, penggunaan peralatan mesin dengan perangkat lunak kode sederhana menjadi semakin berguna melalui kontrol digital. Dalam penelitian Al Habsi dan Rameshkumar (2016) menjelaskan desain dan fabrikasi mesin *Computer Numerical Control (CNC) 3-axis* yang digerakkan *laser*, yang mencakup penggunaan *Graphical User Interface (GUI)* dan mikrokontroler Arduino untuk menghasilkan keluaran *Pulse Width Modulation (PWM)* untuk menjalankan motor *stepper* yang digunakan dalam operasi. CNC mini *3-axis* yang sebelumnya sederhana dengan permukaan presisi dirancang untuk memecahkan kayu, lembaran plastik, dan lembaran paduan logam menggunakan mata bor berputar dengan akurasi yang jauh lebih rendah dibandingkan menggunakan teknik pemotongan yang lebih rendah. Mesin ini portabel dan dikendalikan komputer. Dirancang dan diproduksi dengan ruang kerja 130mm×130mm, mesin CNC mini ini menggunakan motor *stepper* yang dikombinasikan dengan sabuk dan katrol yang membantu menggerakkan sumbu dengan lancar pada bantalan linier, meningkatkan hasil yang diperoleh dengan presisi yang lebih tinggi.

Dalam penelitian Al Habsi dan Rameshkumar (2016), alat mesin CNC mini *3-axis* dirancang dengan harga lebih murah. Sepanjang fase desain struktural, banyak struktur CNC umum telah ditemukan dan diuji. Struktur yang paling cocok adalah struktur *gantry* yang dirancang oleh *Frenchiser* di Inggris. Memilih komponen dengan biaya terbaik untuk memberikan akurasi dan kesederhanaan dalam batasan anggaran. Perakitan komponen mekanis dan transformasinya menjadi komponen elektronik dipertimbangkan dengan sempurna. Prototipe mesin CNC dirakit sendiri di laboratorium untuk memungkinkan pengujian kritis komponen mesin

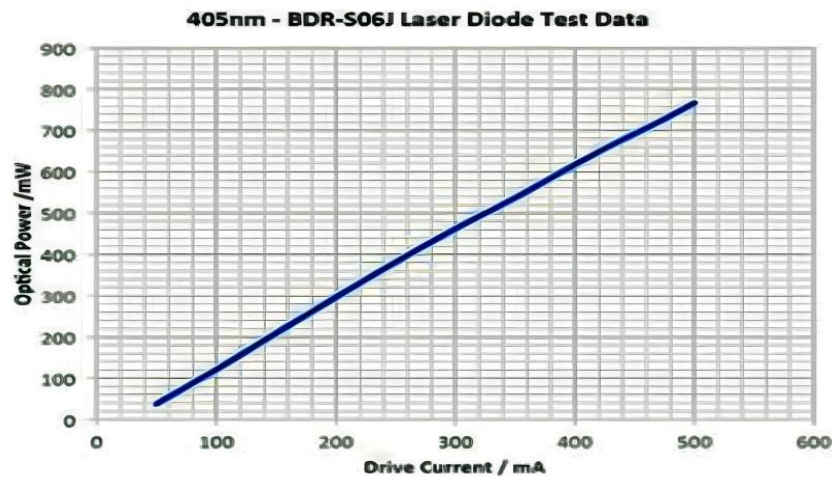
sebelum perakitan. Ikuti langkah-langkah rinci struktur CNC untuk membangun struktur kayu guna memastikan presisi saat merakitnya menjadi komponen elektronik dan mekanis. Langkah-langkah konfigurasi dan kalibrasi diberikan dengan jelas dengan semua detailnya. Verifikasi fungsionalitas mesin secara lengkap menggunakan berbagai pengujian mulai dari pengujian perangkat lunak hingga pengujian mekanis, klarifikasi awal dan identifikasi kesalahan untuk memastikan keandalan mesin. Singkatnya, akurasi perakitan komponen bodi peralatan mesin CNC mini tiga sumbu berhasil mencapai tujuan proyek ini dalam hal akurasi dan pengulangan.

Penelitian Al Habsi dan Rameshkumar (2016) telah meningkatkan antusiasme terhadap desain struktur peralatan di masa depan yang dapat mengakomodasi platform listrik dan elektronik dengan sistem pendingin, sehingga dalam proyek ini suhu motor stepper dan *easydriver* dipengaruhi secara signifikan oleh kondisi pengoperasian. Pendinginan tambahan selama 90 menit akan membantu meningkatkan keandalan kinerja jangka panjang. Selain itu, penyempurnaan pada sumbu-Z mesin di masa depan akan memungkinkan mesin mendeteksi secara otomatis ketebalan bahan yang akan diukir dan mengalihkan *laser* ke unit berputar untuk melakukan sketsa pengukiran dalam, yang memerlukan mikrokontroler tambahan untuk melakukan pengoperasiannya. Terdapat gambar hasil akhir dari rancangan CNC *laser cutter* dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Hasil Akhir Rancangan CNC *Cutter Laser* (Al Habsi dan Rameshkumar, 2016).

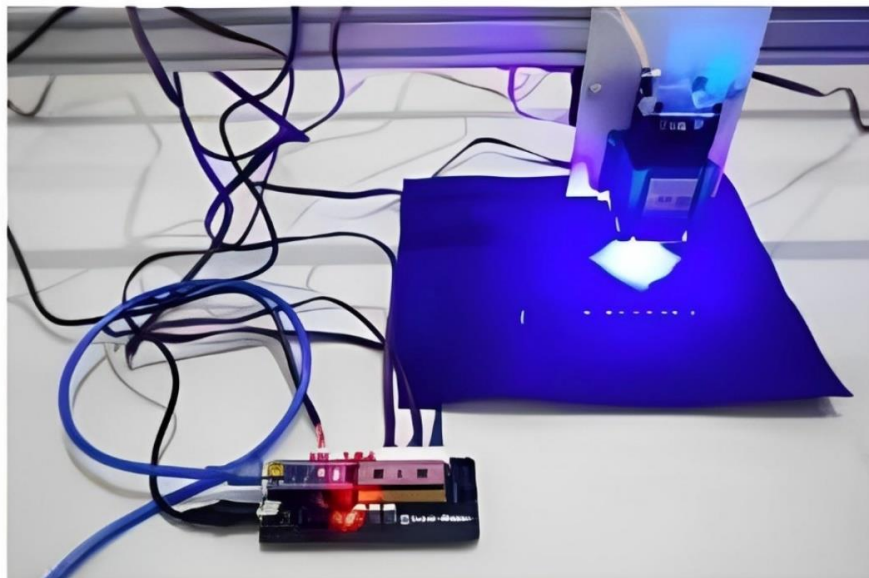
Selain menemukan solusi terbaik dalam *Human Monitor Interface* (HMI) daripada melakukan mobilisasi dengan PC, layar sentuh *Raspberry Pi* juga dapat digunakan sebagai komputer. Karena *Raspberry Pi* hadir dengan sistem operasi *Linux* sendiri dan pengguna sebenarnya dapat menggunakan *driver* USB sederhana untuk menyalin file *G-code* dari mesin yang terhubung ke sistem, ini akan membantu dalam mengalirkan kode mesin ke Arduino uno (Al Habsi dan Rameshkumar, 2016) Mengacu pada **Gambar 2.1** untuk mengikuti penyesuaian yang akurat untuk keluaran arus diode tergantung pada daya optik/mW. Pada penelitian Al Habsi dan Rameshkumar (2016) telah mengatur arus dioda tidak lebih dari 310 mA dan jika lebih maka dioda akan rusak, hasil uji *laser* dioda dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Data Hasil Uji *Laser* Dioda (Al Habsi dan Rameshkumar, 2016).

Menurut penelitian (Muchlis *et al.*, 2021), CNC *laser* adalah alat yang memiliki fungsi untuk mengukir/mencetak berbagai tulisan dan kaligrafi secara otomatis berdasarkan media yang digunakan seperti *Acrilic*, *Fiber*, *Almunium*, dan kayu. Perancangan CNC *laser* menggunakan metode *Design For Assembly Boothroyd* (DFA), *G-Code* dan *Closed Loop System* (Loop Tertutup). Kelebihan metode DFA yaitu mengestimasi pengurangan waktu perakitan. Metode *G-Code* lebih ke menyatukan gerakan yang akan di lakukan mesin, seperti bergeser ke titik A, titik B. Kemudian pada metode *Closed Loop System* (Loop Tertutup) bekerja mengirim sinyal umpan balik ke pengendali untuk mengecilkan kesalahan sistem. Hasil pengujian dari komponen pada masing-masing alat secara keseluruhan berupa input dan output menjadi kesatuan alat mesin CNC *laser cutting* dan

engraver. Perangkat lunak *G-Code Reference Block Librarys* (GRBL) dihubungkan pada CNC *shild*. GRBL mengirim *G-Code* ke arduino dan menerjemahkan isi dari *G-Code* satu persatu untuk menghasilkan pergerakan motor stepper dan cahaya *laser*. Telah didapatkan sistem pengontrolan mesin *laser engravir* yang bisa menggerakkan mesin kearah dua Sumbu-X dan Y, yang tersusun dari beberapa komponen yaitu komputer, kontroler *arduino nano*, motor *stepper*, *laser module*, *power supplay* dan *emergency stop*. Pengujian *laser engraver* dilakukan dengan medium *plywood* dan berbagai pola gambar. Hasil pengujian menunjukkan alat dapat bekerja sesuai dengan pola gambar yang ada, ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.

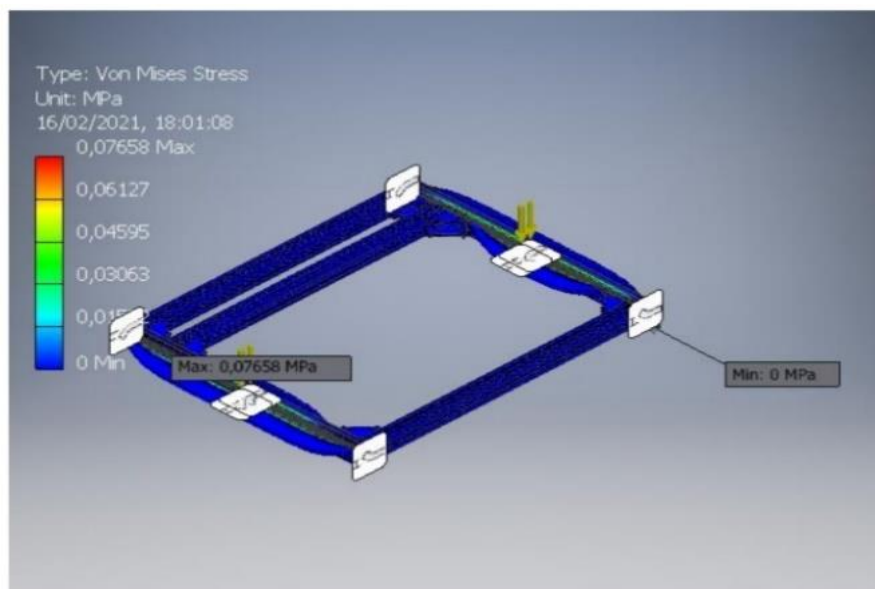


Gambar 2.3 Hasil Pengujian *Laser Diode 15 watt* (Muchlis *et al.*, 2021).

Pada penelitian (Muchlis *et al.*, 2021), rancang bangun mesin CNC *cutting/engraver* telah berhasil diselesaikan, Perangkat lunak GRBL digunakan untuk mengirim *G-Code* ke Arduino Nano, selanjutnya Arduino menerjemahkan satu-persatu *G-Code* agar bisa mengontrol motor *stepper* dan *laser 15 W*. Mesin *laser engraving* dilengkapi dengan *emergency stop*, perangkat elektronika ini memiliki berfungsi untuk mengurangi kerusakan pada mesin CNC, apabila sistem mengalami kendali (*error*) dari pergerakan mesin yang membahayakan. Pengujian dilakukan pada material *plywood 3 mm* untuk *cutting* dan *engraving* dengan berbagai ukuran dan pola gambar. Pada **Gambar 2.3** didapatkan hasil pengujian

yang mereka dapatkan bahwa mesin CNC *Laser Engraver/Cutting* dapat bekerja dengan hasil yang sangat baik dan sudah di uji pada lab elektronika jurusan teknik elektro.

Penelitian (Syaifullah *et al.*, 2021), bertujuan mendesain mesin CNC *Laser Cutting* bersifat *portable*, alat ini menggunakan *laser* sebagai alat potong untuk mengerjakan benda kerja, dengan ukuran *laser* berdiameter 0,02 mm, metode penelitian yang digunakan untuk tahap perancangan yaitu melakukan studi literatur lalu menganalisa kebutuhan pembuatan mesin, memilih dan membandingkan beberapa alternatif desain, melakukan pemilihan konsep, perancangan modul *laser* serta, perancangan sistem gerak *3-axis*, perancangan daya motor serta mensimulasikan frame dengan menggunakan metode elemen. Hasil penelitian ini memperoleh skematik sistem kontrol mesin CNC *laser*, menghasilkan prototipe mesin CNC *laser* dan nilai parameter dari data-data hasil uji kinerja mesin CNC *laser* dengan *microcontroller* CNC *3-axis* berbasis Atmega328 Arduino nano dengan modul *laser* 5,5 watt dan kecepatan potong 22 di setiap panjang akrilik 200 mm serta daya penggerak 35 watt dengan kapasitas maksimal bidang kerja 200×100×10 mm. Hasil simulasi tegangan *von mesis stress* sebesar 0,07658 MPa dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Hasil Simulasi Tegangan *Von Mesis Stress* Pada CNC *Laser* (Syaifullah *et al.*, 2021).

2.2 Mesin CNC

Mesin CNC merupakan sebuah istilah yang digunakan hingga sistem operasinya dikontrol dengan memakai sebuah komputer internal. Karena ketelitian dan efisiensi yang dimilikinya, teknologi CNC adalah metode terbaik saat ini untuk memenuhi kebutuhan akan komponen manufaktur. Mesin CNC tidak tergantung pada komponen pendukungnya, seperti operator (brainware), hardware, dan software. Ketika bagian-bagian itu perlu saling mendukung untuk mencapai hasil yang diinginkan (Syahriza *et al.*, 2021).

Mesin CNC adalah mesin konvensional di mana operator memilih dan menyesuaikan berbagai parameter mesin, seperti pakan, kedalaman potong drill, dan mengontrol gerakan geser dengan tangan. Meskipun awalnya dikembangkan untuk mengontrol gerakan dan pengoperasian peralatan mesin, ini juga merupakan bentuk aplikasi otomatis yang unik dan multifungsi. Menggunakan software, mesin CNC mengambil kode dari komputer dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Selanjutnya, motor dikendalikan oleh sinyal yang dikirim oleh komputer. Mesin ini selalu dapat bergerak dalam gerakan yang sangat tepat karena kemampuan motor untuk mengubah jumlah yang sangat kecil (Desphande, 2018).

Walaupun pada awal penemuannya, mesin CNC dianggap sangat canggih, mereka tidak dapat menghasilkan bentuk yang kompleks dan tidak konsisten. Karena keterbatasan tersebut, Institut Teknologi Massachusetts (MIT) dan John T. Parson menciptakan mesin *Numerical Control* (NC) pada tahun 1952 untuk membuat benda-benda khusus yang rumit untuk Angkatan Udara AS. Sekitar tahun 1970an, MIT dan *International Business Machines Corporation* (IBM) menciptakan mesin CNC pertama yang sepenuhnya otomatis dan memiliki sistem komputasi. Mesin ini sangat mahal untuk dioperasikan. (Hasibuan *et al.*, 2019).

Mulai tahun 1975, perkembangan mesin CNC berkembang pesat karena perkembangan dari mikroprosesor. Perkembangan ini membuat perubahan yang besar dalam pengerjaan logam dan industri pesawat terbang. Perkembangan terus terjadi hingga sekarang sehingga mesin CNC tidak hanya dapat dimiliki oleh industri besar. Penemuan komputer memungkinkan pengguna untuk melakukan

Computer Aided Design (CAD) dan *Computer Aided Manufacturing (CAM)*. Bahasa pemrograman yang berkaitan langsung dengan perangkat keras digantikan dengan *Graphical User Interface (GUI)* untuk memudahkan pengguna untuk mengoperasikan mesin CNC (Hasibuan *et al.*, 2019).

Adapun kelebihan dari mesin CNC yaitu: (Hasibuan *et al.*, 2019).

- a. Sistem pengoperasian yang fleksibel dengan hasil yang maksimal
- b. Hasil dari produksi lebih sempurna karena ada motor penggerak (X, Y, Z)
- c. Ongkos memahat dapat ditekan (karena menggunakan mesin untuk memproses ukir)
- d. Lebih mudah dalam melakukan perubahan pada program untuk modifikasi benda kerja
- e. Program dapat dipersiapkan lebih cepat dan bisa dipakai kapan saja
- f. Lebih cepat dalam pembuatan *prototype*
- g. Tidak memerlukan banyak orang untuk melakukan produksi

Selain kelebihan dari mesin CNC, mesin CNC juga memiliki kekurangan yaitu.

- a. Peralatan yang dipakai lebih mahal
- b. Butuh waktu untuk membuat program
- c. Perawatan dilakukan secara khusus karena perlu orang yang terlatih untuk merawatnya
- d. Bila terjadi kerusakan biaya perbaikan sangat mahal dan perbaikan dilakukan oleh teknisi khusus

Axis adalah jalur gerak yang dikendalikan oleh kontrol mesin CNC. Itu bisa linier atau melingkar. Kemampuan pemesinan ditentukan oleh jumlah Sumbu-Yang dimilikinya. Mesin CNC tiga sumbu dan empat atau lima sumbu akan memiliki tiga sumbu linier dan satu atau dua sumbu putar untuk pusat permesinan. Mesin 3-*axis* bertujuan untuk menyediakan mekanisme level awal yang sesuai untuk pengujian dengan pemesinan tiga sumbu dan desain komputer dibantu atau pembuatan komputer. Tidak ada rencana untuk mengganti mesin-mesin canggih yang dibuat oleh perusahaan manufaktur. Fokusnya adalah pada kemudahan akses dan kemampuan pengguna untuk sepenuhnya mengubah firmware bawaan mesin (Al Habsi dan Rameshkumar, 2016).

2.3 LASER

Laser merupakan singkatan dari *Light Amplification by Stimulated of Radiation*, yaitu terjadinya proses penguatan cahaya oleh emisi radiasi yang terstimulasi. Ada tiga prinsip interaksi antara cahaya dengan materi yaitu absorpsi, emisi spontan dan emisi terstimulasi. Dikemukakan juga oleh Albert Einstein ada tiga proses yang terlibat dalam kesetimbangan termal suatu gas yang sedang menyerap dan memancarkan radiasi, yaitu serapan, pancaran spontan (*fluorensi*) dan pancaran terangsang (*lasing*) (Winingsih, 2015). *Laser* adalah cahaya yang diperkuat dengan cara menstimulasi radiasi yang terjadi pada sebuah sumber cahaya. Cahaya yang dihasilkan akan direfleksikan secara berulang-ulang sehingga pada suatu keadaan akan dikeluarkan dalam bentuk sinar yang fokus terhadap suatu objek (Kurniawan, 2019).

Salah satu bentuk *laser* yang banyak digunakan pada aplikasi elektronik adalah dioda *laser*. Salah satu karakteristik dioda *laser* yang menentukan aplikasinya adalah panjang gelombangnya, saat ini dioda *laser* yang dapat dihasilkan dan dipakai secara luas adalah dioda *laser* infra-merah dan merah. *Laser* semikonduktor merupakan salah satu jenis *laser* yang penting disamping *laser-laser* jenis lain seperti *laser* gas dan *laser* cairan karena mempunyai koherensi ruang dan waktu serta dapat menghasilkan berkas sinar yang sangat terarah. *Laser* semikonduktor merupakan jenis *laser* zat padat yang disebut juga dengan *laser* diode. Warna *laser* berkaitan dengan panjang gelombang dari *laser* tersebut, dimana panjang gelombang ini menentukan karakteristik dan aplikasi dari *laser*. Daerah inframerah berada dalam kisaran 780-850 nm, *laser* warna merah antara 650-720 nm. *laser* biru memancarkan cahaya dengan panjang gelombang 410-460 nm dan untuk warna hijau terlihat kisaran 520-570 nm (Winingsih, 2015).



Gambar 2.4 Modul *Laser* Dioda 40W.

Tabel 2.1 Spesifikasi Modul *Laser* 40W.

Spesifikasi	Keterangan
Bahan	Paduan Aluminium dan Komponen Elektronik
Warna Utama	Biru
Daya <i>Laser</i>	40 W
Panjang Gelombang	450 nm
Tegangan Masukan	12V
Keluaran	Berterusan (CW)
Suhu Operasi	0-70°C
Suhu Penyimpanan	-40-80°C
Ukuran	4×4×11 cm/1,57×1,57×4,33 in
Berat	235 gram/8,28 oz

2.4 CNC *Laser* Cutter

CNC *laser cutter* adalah teknologi industri yang menggunakan *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER)* untuk memotong material besi dan non besi. Mesin mini CNC adalah mesin yang mirip dengan mesin CNC biasa namun dibatasi oleh area permesinan. Mesin ini dirancang untuk pengukuran kecil dan presisi. CNC dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu mesin *rotary* dan mesin *milling*. Mesin putar pada dasarnya adalah alat yang memutar potongan material dengan kecepatan sangat tinggi dan pemintal bergerak

bolak-balik dan keluar masuk sampai bentuk yang diinginkan selesai. Mesin milling adalah mesin yang memiliki spindel yang dianggap mirip dengan *router*, dengan alat *laser* yang memutar dan memotong ke berbagai arah dan bergerak ke tiga arah sepanjang Sumbu-X, Y dan Z (Chiang dan Ramos, 1994).

Baru-baru ini, dunia industri telah menjadi lebih cepat lebih kecil dan dalam teknologi yang sangat canggih untuk membuat segala sesuatu menjadi lebih kecil, lebih tipis dan portabel. Seperti halnya sekarang ini di dunia teknik dan teknologi sudah ada mikrokontroler nano dan ukuran mikro. Ini juga berlaku untuk mesin CNC *3-axis*, mesin ini saat ini memiliki ukuran kisaran di pasar terbuka. Setiap jenis mesin memiliki fungsinya masing-masing, meskipun ukurannya besar atau kecil. Bergantung pada spesifikasi mesin, CNC dapat mengerjakan benda kerja besar atau benda kerja kecil yang dianggap sebagai mesin CNC mini sesuai dengan spesifikasi desainnya. Dimana mesin CNC mini akan memberikan area setup benda kerja yang kecil dan akan lebih mudah untuk mendapatkan hasil benda kerja yang akurat (Suharto *et al.*, 2020).

Kecanggihannya fasilitas dan presisi kontrol alat CNC, jika dibandingkan dengan mesin biasa, memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perkembangan fungsi komponen, rangka tubuh, motor *stepper*, dan sirkuit kontrol. Konstruksi dan evaluasi mesin penggilingan CNC meja murah dengan menggunakan pemotong penggilingan harga rendah untuk spindel utama karena pasokan tegangan rendah dari gaya pemotongan utama memungkinkan untuk menggunakan alat dengan dimensi lebih kecil untuk bahan mesin seperti kayu, bahan aluminium dan plastik (Suharto *et al.*, 2020). Selama beberapa dekade, teknologi industri telah mengubah banyak aspek kehidupan sehari-hari. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk pengembangan mesin tersebut. CNC pada mesin yang lebih kecil, lebih tipis, lebih ringan, dan lebih murah. Teknologi mesin CNC dicirikan oleh harga yang terjangkau dan teknologi yang sangat canggih sehingga bahkan individu dapat merancang dan membangun mesin yang dikendalikan CNC (Kelly dan Daniel, 2009).

Mesin CNC ukiran *laser* dapat dikategorikan dalam tiga bagian utama: dioda *laser*, modul pengontrol, dan permukaan kerja. Seperti yang umum diketahui *laser* seperti pensil, pola yang berbeda dapat diukir dengan memprogram modul kontrol untuk melintasi jalur tertentu dari sinar *laser* dalam milimeter. Jejak sinar *laser* diatur dengan hati-hati untuk mencapai jalur penghilangan material yang konsisten. Pertimbangan gerakan kecepatan melintasi bahan ukiran untuk menciptakan pola yang akurat yang meningkatkan intensitas dan penyebaran sinar yang akan memungkinkan fleksibilitas desain misalnya siklus kerja pulsa *laser* selama setiap belokan yang mengukur daya yang disuplai ke permukaan ukiran bisa tepat sesuai untuk bahannya. Titik *laser* diketahui dengan tepat oleh pengontrol, tidak perlu menambahkan penghalang ke permukaan untuk menghindari *laser* bertentangan dengan desain ukiran yang ditentukan. Hasilnya, tidak diperlukan topeng resistif dalam pengukiran *laser*. Ini terutama mengapa teknik ini berbeda dari metode ukiran yang lebih tua (Al Habsi dan Rameshkumar, 2016).

2.5 CNC Router

CNC router merupakan alat yang sering digunakan dalam proses pemotongan (*cutting*) maupun pengukiran (*engraving*) dalam industri skala kecil maupun menengah keatas. CNC *router* dalam pergerakannya didukung menggunakan computer dan bahasa numerik yang menghasilkan komponen unik yang presisi dan part yang kompleks. Perusahaan yang membuat CNC *router* menghadapi masalah dalam merakit mesin CNC *router*. Masalah tersebut adalah proses *assembly* yang rumit dengan parameter kerumitan dinilai dari waktu perakitan yang lama (1468 sekon), jumlah part yang banyak (195 part) dan juga efisiensi yang rendah menurut perhitungan DFA. Hal ini berdampak pada waktu *assembly product* yang cukup lama yang menyebabkan unit *cost* menjadi tinggi (Firdaus dan Yuhas, 2022). Mesin CNC *router* menggabungkan teknologi CNC dan *router, cutter* yang mampu memotong bentuk-bentuk lembaran kayu atau material lunak lainnya yang memiliki bentuk rumit dan membutuhkan ketelitian dalam pembuatan. Gabungan ini kemudian membentuk sebuah mesin pemotong yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan mesin router untuk memotong

berbagai bahan seperti kayu, komposit, alumunium, baja lunak, kaca akrilik, plastik dan busa dengan mengadopsi dari teknologi CNC. Pergerakan memotong dan lintasan *cutter* untuk sumbu-X, Y dan Z serta sumbu-A dan B yang berasal dari program komputer berdasarkan gambar maupun desain kontur yang telah dibuat (Nayorama dan Sedyono, 2016).

Alat utama yang digunakan pada mesin CNC *router* yaitu pisau yang berbentuk dengan mirip mata bor. Pisau akan berputar dengan kecepatan yang telah diatur dan akan memakan kayu hingga berbentuk benda kerja yang diinginkan. Berdasarkan bentuk dan fungsinya pisau *router* dibedakan menjadi empat jenis pisau. Pisau pembuat alur merupakan jenis pisau yang digunakan untuk membuat bermacam- macam alur dan dapat digunakan untuk membuat sambungan. Pisau pembentuk kayu merupakan jenis pisau yang digunakan untuk membentuk tepian kayu. Pisau perata pinggir digunakan untuk meratakan pinggiran kayu dan pisau pembuat alur kecil yang digunakan sebagai pembentuk berbagai macam lekukan hias pada tepian kayu (Nayorama dan Sedyono, 2016).

2.6 CNC Milling

CNC *milling* adalah mesin dimana penggerak meja mesin (Sumbu-X dan Y) serta dikendalikan oleh suatu program, program tersebut berisi langkah-langkah perintah yang harus dijalankan oleh mesin CNC, program tersebut bisa dibuat langsung pada mesin CNC (angka per angka, huruf per huruf). yang hasil programnya disebut program NC, atau dibuat menggunakan komputer khusus untuk membuat program NC (Syahriza *et al.*, 2021). Mesin *milling* (penggilingan) dapat dikontrol secara manual atau otomatis menggunakan unit kontrol dan pengumpanan yang digerakkan motor. Pemesinan manual menggunakan roda tangan dan engkol yang terpisah untuk mengontrol umpan untuk setiap sumbu. Namun, mesin CNC juga dapat dikontrol secara manual melalui perangkat lunaknya, jadi perbedaan utama antara *milling* tradisional dan CNC adalah komputer mengambil alih fungsi kontrol dasar. Pada masa pra-komputer, bagian dari proses penggilingan diotomatisasi menggunakan apa yang disebut duri untuk mengubah gerakan rotasi dari poros penggerak utama mesin menjadi umpan linier

variabel di sepanjang satu sumbu atau lebih. NC adalah pendahulu dari proses CNC modern dan dikembangkan selama tahun 1970-an, jauh sebelum komputer modern diciptakan. Teknik NC menggunakan perintah numerik untuk mengontrol proses *milling* sederhana (Rattat, 2017).

Proses penggilingan juga berbeda menurut apakah arah rotasi pahat sama atau berlawanan dengan arah umpan. Selama penggilingan dipotong, benda kerja diumpankan ke pahat, sedangkan penggilingan sinkron atau "pemotongan bawah" mengumpan material menjauh dari pahat selama pemotongan. *Milling* dipotong memaksa benda kerja ke arah *cutting edge*, menghasilkan peningkatan beban dan mengerahkan gaya lateral pada pemotong. Gaya-gaya ini mencapai tingkat maksimum tepat sebelum pinggiran tajam keluar dari permukaan benda kerja. Jika chip pecah pada titik ini, gaya yang terlibat segera menghilang, menghasilkan kompresi material yang berlebihan dan potongan yang tidak rata. Pergantian beban yang cepat ini sering menyebabkan getaran pada alat, yang mengakibatkan apa yang disebut tanda obrolan. Selama *downcut milling*, pahat dan benda kerja bergerak ke arah yang sama. Gaya yang diberikan oleh pemotong paling besar pada saat menyentuh permukaan dan berkurang selama pemotongan. Gaya lateral dihasilkan saat pemotong memasuki benda kerja yaitu saat ujung potong kurang lebih tegak lurus terhadap arah pemakanan. Pemotong berada di bawah beban yang lebih sedikit saat keluar dari pemotongan. Hal ini mengurangi getaran tetapi membutuhkan *lead screw* yang hampir tidak dapat diputar. Jika tidak demikian, pahat akan menyeret benda kerja selama pemotongan hingga kelonggaran habis dan pahat sekali lagi memasuki benda kerja dengan laju perubahan percepatan. Ini meniadakan keuntungan potensial dari proses *downcut* (Rattat, 2017).

2.7 Driver Motor

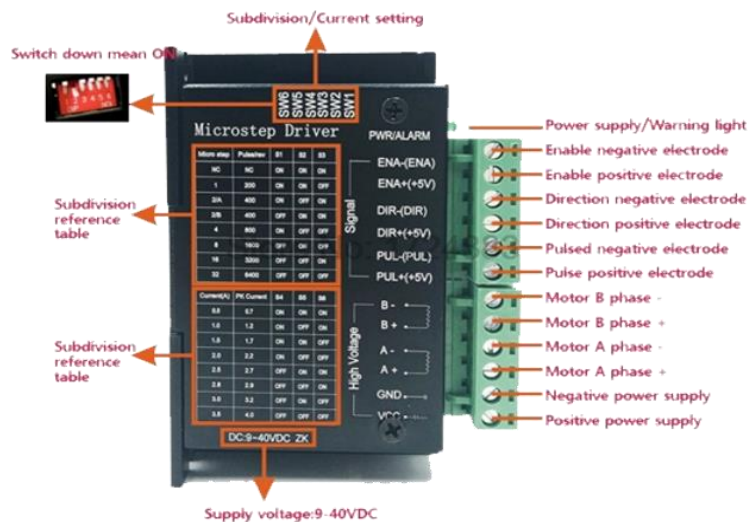
Untuk menggerakkan motor *stepper* diperlukan sebuah rangkaian yang dapat memberikan cam daya ke motor *stepper*. Disamping memberikan catu daya, *driver* tersebut juga mengatur masukan yang berupa pulsa untuk mengatur gerakan dan motor *stepper* karena motor *stepper* bergerak *step by step*. Fungsi dari *stepper driver* itu sendiri yaitu untuk menerima sinyal keluaran dari

rangkaian *breakout board* yang kemudian menerjemahkannya untuk memberikan input tegangan dan frekuensi tertentu. *stepper driver* ini mengendalikan arah putaran motor dengan cara membalik urutan pemberian tegangan pada lilitan motor *stepper*. Sedangkan untuk mengatur kecepatan putaran motor, *driver* akan mengatur besarnya frekuensi pulsa yang masuk pada lilitan motor *stepper* (Nugroho, 2015).

Driver motor merupakan komponen yang berfungsi untuk komunikasi *controller* dengan aktuator serta memperkuat sinyal keluaran dari *controller* sehingga dapat dibaca oleh aktuator (Harrizal *et al.*, 2017). Seperti halnya *Breakout Board* (BOB), *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*. *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 di gunakan. 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 (Hasibuan *et al.*, 2019).

TB6600 *stepper* motor adalah *driver* motor *stepper* yang profesional mudah digunakan, sehingga dapat mengendalikan motor melangkah dua fase. Ini kompatibel dengan Arduino dan penggunaan lain yang dapat menghasilkan sinyal pulsa digital 5 V. *Driver* motor *stepper* arduino TB6600 memiliki masukan daya rentang lebar, catu daya 9 ~ 42 VDC. *Driver stepper* mendukung kontrol kecepatan dan arah. Serta dapat mengatur langkah mikro dan arus keluaran dengan 6 DIP switch. Ada 7 jenis langkah mikro (1, 2/A, 2/B, 4, 8, 16, 32) dan 8 jenis kontrol saat ini (0,5 A; 1 A; 1,5 A; 2 A; 2,5 A; 2,5 A; 2,8 A; 3,0 A; 3,5 A)

semuanya. Dan semua terminal sinyal mengadopsi isolasi *optocoupler* berkecepatan tinggi, meningkatkan kemampuan interferensi anti-frekuensi tinggi. Sebagai perangkat profesional, motor ini mampu menggerakkan motor sesuai dengan tipe yang akan digunakan (Patonra *et al.*, 2020). Adapun fungsi pin pada *driver* motor TB6600 ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Driver Motor TB6600 (Anonim, 2022).

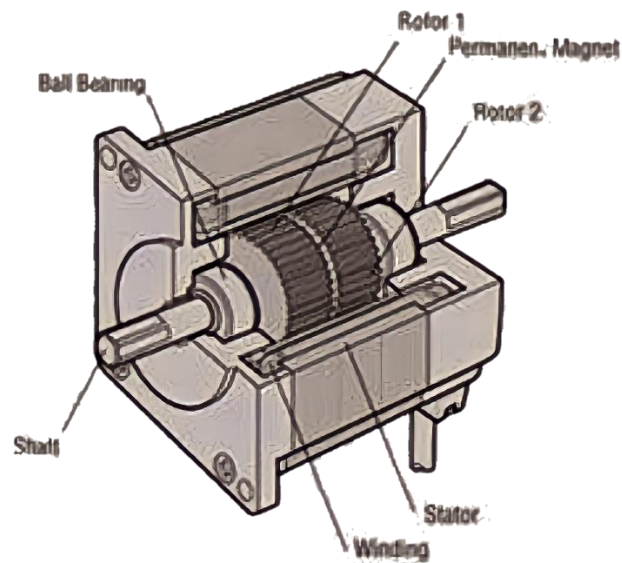
2.8 Motor Stepper

Motor *stepper* adalah perangkat elektromekanis yang bekerja dengan mengubah pulsa elektronis menjadi gerakan mekanis diskrit. Motor *stepper* tidak dapat bergerak sendirinya, tetapi bergerak secara per-step sesuai dengan spesifikasinya, dan bergerak dari satu *step* ke *step* berikutnya memerlukan waktu, serta menghasilkan torsi yang besar pada kecepatan rendah. Motor *stepper* juga memiliki karakteristik yang lain yaitu torsi penahan, yang memungkinkan menahan posisinya. Hal ini sangat berguna untuk aplikasi dimana suatu sistem memerlukan keadaan memulai dan berhenti. Motor *stepper* tidak merespon sinyal *clock* dan mempunyai beberapa lilitan dimana lilitan-lilitan tersebut harus dicatu tegangan dahulu dengan suatu urutan tertentu agar dapat berotasi. Membalik urutan pemberian tegangan tersebut akan menyebabkan putaran motor *stepper* yang berbalik arah. Jika sinyal kontrol tidak terkirim sesuai dengan perintah maka motor *stepper* tidak akan berputar secara tepat, mungkin hanya akan bergetar dan tidak bergerak. Besarnya derajat putaran per step adalah parameter terpenting

dalam pemilihan motor *stepper* karena akan menentukan ukuran langkah gerakan yang paling kecil. Tiap-tiap motor *stepper* mempunyai spesifikasi masing-masing, antara lain $0,72^\circ$ per step; $1,8^\circ$ per step; $3,6^\circ$ per step; $7,5^\circ$ per step; 15° per step dan bahkan ada yang 90° per step (Wijaya *et al.*, 2017).

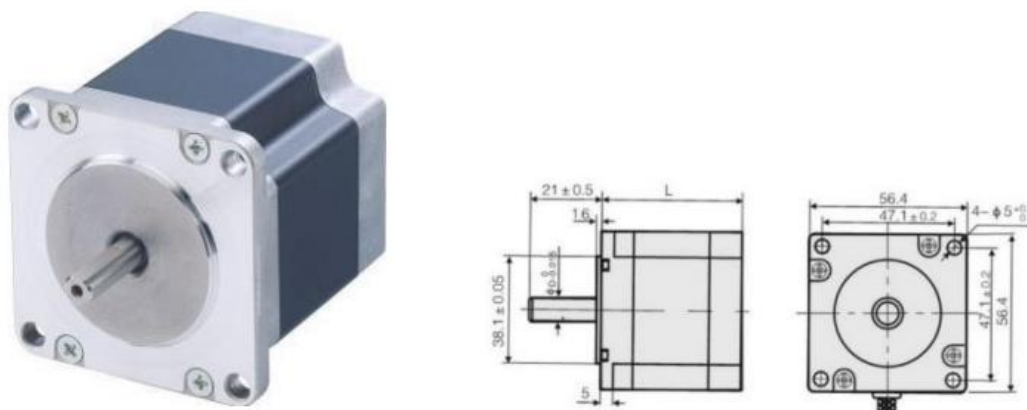
Ada tiga mode eksitasi yang biasa digunakan untuk motor *stepper*, yaitu *fullstep*, *halfstep*, dan *microstepping*. Dalam operasi *fullstep*, motor bergerak sesuai dengan spesifikasi derajat per stepnya, yaitu motor $1,8^\circ$ untuk motor *stepper* dan memerlukan 200 langkah per satu putaran motor. Ada dua jenis mode eksitasi *fullstep*, yaitu eksitasi fasa tunggal dan fasa ganda. Dalam *fullstep* fasa tunggal, motor dioperasikan hanya dengan satu fasa (kelompok gulungan) yang diberi energi sekaligus. Mode ini membutuhkan daya paling sedikit dari pengemudi mode eksitasi manapun. Dalam mode *dual phase*, motor *stepper* dioperasikan dengan kedua fasa berenergi pada saat bersamaan. Sedangkan eksitasi *half step* adalah operasi fasa tunggal dan ganda bergantian yang menghasilkan langkah-langkah setengah sudut langkah dasar. Karena sudut langkah yang lebih kecil, mode ini memberikan dua kali resolusi dan operasi yang lebih halus. *Half stepping* menghasilkan torsi kira-kira 15% lebih sedikit daripada *dual phase full stepping*. Modifikasi *half stepping* menghilangkan torsi ini dengan meningkatkan arus yang diaplikasikan ke motor saat fasa tunggal diberi energi. Sedangkan *microstepping* adalah teknik yang meningkatkan resolusi motorik dengan mengendalikan baik arah dan amplitudo aliran arus pada masing-masing lilitan. Arus proporsional dalam gulungan sesuai dengan fungsi sinus dan kosinus. *microstepping* bisa membagi langkah dasar motor hingga 256 kali (Wijaya *et al.*, 2017).

Motor *stepper* bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor. Karena itu, untuk menggerakkan motor *stepper* diperlukan pengendalian motor *stepper* yang membangkitkan pulsa-pulsa periodik seperti *driver* motor (Susa'at, 2015). Adapun konstruksi dasar dari motor *stepper* dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Kontruksi Dasar *Stepper* Motor (Susa'at, 2015).

Pemilihan motor *stepper* dilakukan karena motor tersebut dapat dikendalikan dengan cukup mudah dan memiliki ketelitian yang tinggi. Adapun motor yang akan digunakan pada perakitan ini adalah *stepper* motor jenis Nema-23 dengan torsi 178,5 oz-inch (1,26 Nm). Cocok digunakan untuk pengerjaan bahan PCB, *Acrylic*, kayu, dan aluminium (Surinto, 2020). Bentuk dari *stepper* motor Nema-23 dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.



(a)

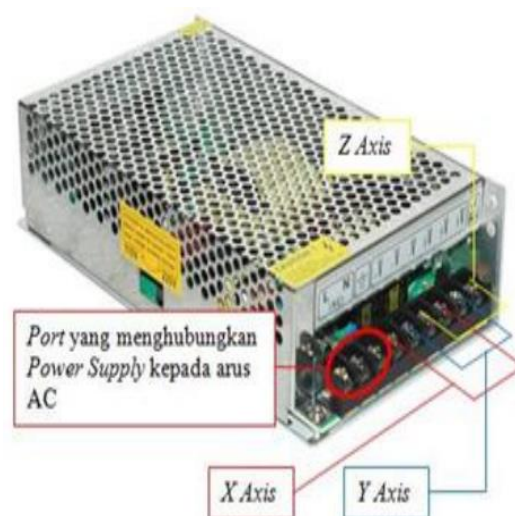
(b)

Gambar 2.7 a) *Stepper* Motor Nema 23 b) Ukuran *Stepper* Motor (Surinto, 2020).

Penggunaan motor *stepper* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan penggunaan motor DC biasa. Keunggulannya yaitu sudut rotasi motor proporsional dengan pulsa masukan sehingga lebih mudah diatur (Wibowo, 2017). Motor dapat langsung memberikan torsi pada saat mulai bergerak, posisi dan pergerakan repertisinya dapat ditentukan secara presisi, memiliki respon yang sangat baik terhadap mulai, *stop* dan berbalik (perputaran), sangat reliabel karena tidak adanya sikat yang bersentuhan dengan *rotor* seperti pada motor DC, dapat menghasilkan perputaran yang lambat sehingga beban dapat dikopel langsung ke porosnya, selain itu frekuensi perputaran dapat ditentukan secara bebas dan mudah pada range yang luas (Dhaware *et al.*, 2019).

2.9 Power Supply

Power Supply adalah perangkat yang berfungsi sebagai penyedia utama daya tegangan arus searah 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 VDC Ampere (Jufrizaldy dan Ilyas, 2020). Berikut merupakan **Gambar 2.8** yang menunjukkan port dari *power supply*.



Gambar 2.8 Port Power Supply 24 volt (Jufrizaldy dan Ilyas, 2020).

2.10 *Spindle*

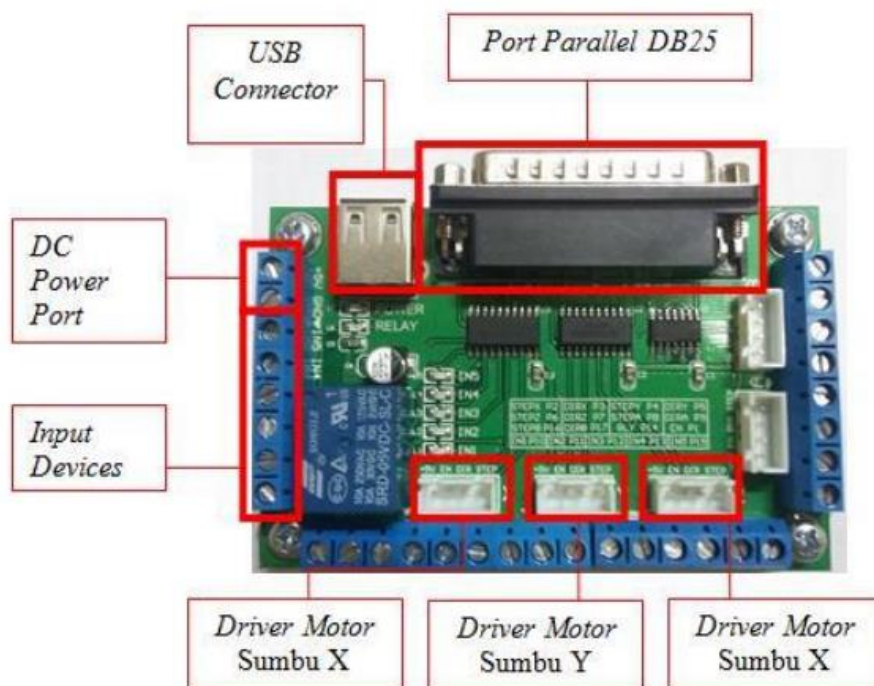
Spindle merupakan bagian dari mesin yang akan menjadi rumah *cutter* atau *engrave* (pengukir atau pemotong). *Spindle* inilah yang mengatur putaran dan pergerakan *cutter* pada sumbu-Z. *Spindle* selanjutnya digerakkan oleh motor yang dilengkapi dengan sistem transmisi *belting* atau *kopling*. *Spindle* merupakan bagian yang sangat penting pada mesin CNC karena *spindle* ini yang akan berkontak langsung dengan benda kerja (Hasibuan *et al.*, 2019).

Fungsi *spindle* (kode-S) adalah untuk menentukan kecepatan *spindle* dan kecepatan spindel dibatasi oleh kecepatan *spindle* maksimum yang ditentukan oleh pengguna. Kode-S adalah kode modal, oleh karena itu kecepatan *spindle* yang ditentukan oleh kode-S berlaku sampai kecepatan *spindle* lain ditentukan. Kecepatan *spindle* yang ditentukan oleh kode-S dibatalkan setelah dihidupkan, atau saat sistem diatur ulang atau saat M30 diperintahkan. Selama eksekusi program bagian, perubahan kecepatan *spindle* dibatasi menjadi kurang dari atau sama dengan kecepatan *spindle* maksimum yang ditentukan (Suk *et al.*, 2008).

Fungsi kontrol kecepatan permukaan konstan digunakan untuk memutar *spindle* dengan kecepatan permukaan konstan terlepas dari posisi alat. Fungsi ini diterapkan untuk belok dan kecepatan permukaan untuk fungsi ini ditentukan oleh alamat-S. Untuk fungsi ini, sumbu di mana kontrol kecepatan permukaan konstan diterapkan harus ditentukan. Untuk memerintahkan kontrol kecepatan permukaan konstan, perintah G96 digunakan, dan untuk membatalkan kontrol kecepatan permukaan konstan, perintah G97 digunakan. Biasanya *spindle* yang terhubung dengan motor spindel diputar dengan kecepatan tertentu untuk memutar benda kerja yang terpasang pada *spindle*. Status kontrol *spindle* ini disebut sebagai mode rotasi *spindle*. Selain mode putaran *spindle*, fungsi posisi *spindle*, yang memutar *spindle* melalui sudut tertentu, dapat digunakan untuk memosisikan benda kerja yang terpasang pada *spindle* pada sudut tertentu. Selain itu, karena fungsi orientasi *spindle* adalah salah satu fungsi posisi *spindle*, fungsi orientasi *spindle* dapat digunakan untuk menghentikan *spindle* pada posisi yang telah ditentukan sebelumnya. Dengan menentukan sudut tertentu menggunakan kode-S, dimungkinkan untuk menghentikan *spindle* pada sudut tertentu (Suk *et al.*, 2008).

2.11 Breakout Board Mach3

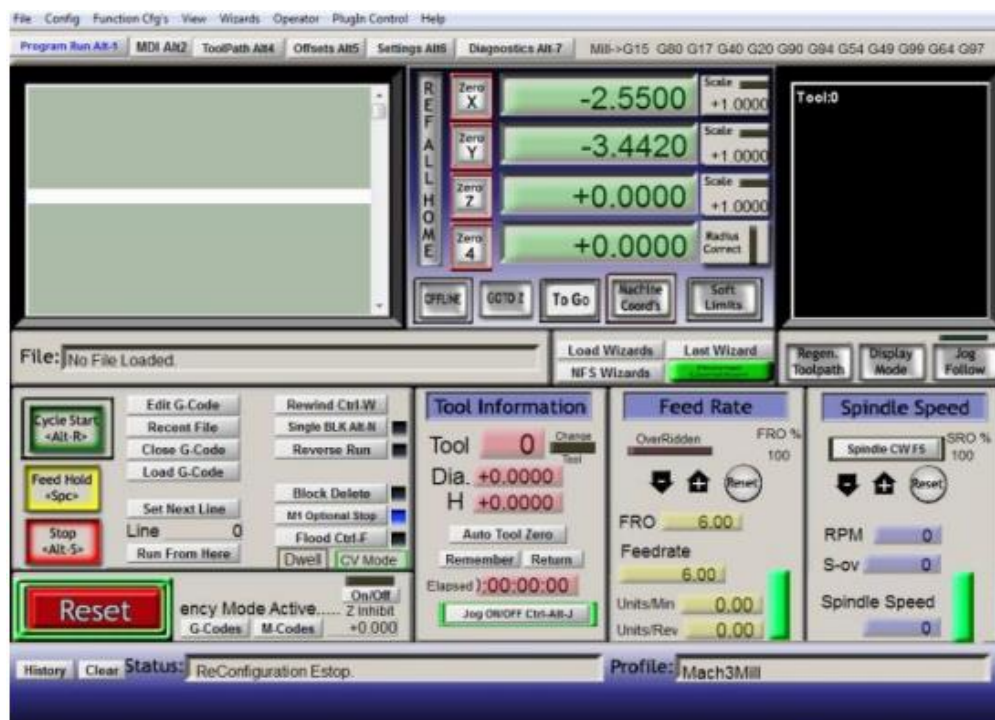
Breakout Board (BOB) merupakan *card electronic* yang berfungsi menghubungkan sinyal data dari komputer baik input maupun output kepada aktuator. BOB merupakan komponen utama *control system* yang berfungsi sebagai otak pada CNC. BOB nantinya difungsikan sebagai penghubung sinyal data dari komputer menuju *relay* atau *driver*, atau juga menghubungkan sinyal masukan dari luar agar bisa dibaca pada PC (Prakoso, 2014). BOB menggunakan *parallel port* komputer DB25 yang dapat diakses dengan *interface software* Mach3 ataupun *software* lain sejenis yang bekerja dengan *parallel port* DB25. BOB yang akan digunakan untuk perancangan *control system* ini adalah CNC *Interface Board* ST-V3. BOB memiliki beberapa *port* yang nantinya terhubung ke masing-masing port seperti ke PC, *stepper motor 5-axis*, masukan *device*. *USB connector* dan sumber tenaga (*power*) (Harrizal *et al.*, 2017). Adapun uraian lengkap tentang BOB dan *port* konektornya diperlihatkan oleh **Gambar 2.9**.



Gambar 2.9 Port Konektor *Breakout Board* Mach3 (Ariyanto dan Usman, 2018).

2.12 Software Mach3

Mach3 adalah *software* buatan *Artsoft* yang dapat mengolah program yang dihasilkan oleh *software* CAM berupa *G-Code*. Kemudian Mach3 meneruskan perintah yang ada pada program *G-Code* ke *driver board* untuk mengendalikan motor *stepper* (Firsa *et al.*, 2017). Mach3 adalah *software* yang bisa mengubah komputer dekstop menjadi sebuah piranti controller mesin CNC. Mach3 sangat kaya fitur dan memberikan nilai yang besar untuk mereka yang membutuhkan paket kontrol CNC. Mach3 bekerja pada PC *Windows* untuk mengendalikan gerakan Motor (*Stepper* dan *Servo*) dengan mengolah *G-Code*. Bukan hanya *milling* dan bubut, Mach3 juga bisa dikembangkan untuk beberapa mesin CNC yang lainnya, seperti: *CNC Plasma Cutting*, *Electrical Discharge Machining (EDM) Wire CUT*, *Water Jet*, dan *Laser*. Mach3 memiliki fitur penambah program (*VB Script*) yang memungkinkan kita untuk menambahkan kefungsiian khusus seperti: *Automatic Tool Changer (ATC)* (Setyoadi dan Latifah, 2015).



Gambar 2.10 Tampilan Utama Mach3 (Firsa *et al.*, 2017).

Mach3 adalah aplikasi utama yang digunakan pada mesin CNC. Mach3 akan membantu komputer menyampaikan sinyal informasi dan perintah kepada mesin dalam bentuk kode. Terdapat beberapa parameter penting yang perlu diperhatikan pada Mach3 untuk menentukan performa mesin, dapat dilihat pada **Gambar 2.10**.

1. *Select Native Unit*

Pada menu utama Mach3 terdapat menu “*Config*” yang memiliki sub menu “*Select Native Unit*”. Menu tersebut dipilih untuk mengatur standar satuan ukuran yang akan digunakan.

2. *Ports and Pins - Motor Outputs*

Motor outputs pada menu ports and pins berfungsi sebagai pengatur *interface* Mach3 dalam mengendalikan aktuator motor stepper yang bergerak pada tiga sumbu.

3. *Ports and Pins - Input Signals*

Pada rangkaian kontrol Mesin CNC ini, *Limit Switch* dan *E-Stop* terhubung dan memberikan sinyal masukan kepada *software interface* Mach3 yang selanjutnya akan memberi perintah lanjutan kepada motor output. Khusus untuk komponen *Limit Switch*, selain sebagai komponen keamanan, *Limit Switch* juga dapat dijadikan sebagai batas jangkauan maksimal dari masing-masing sumbu pada mesin CNC.

4. *Motor Tuning*

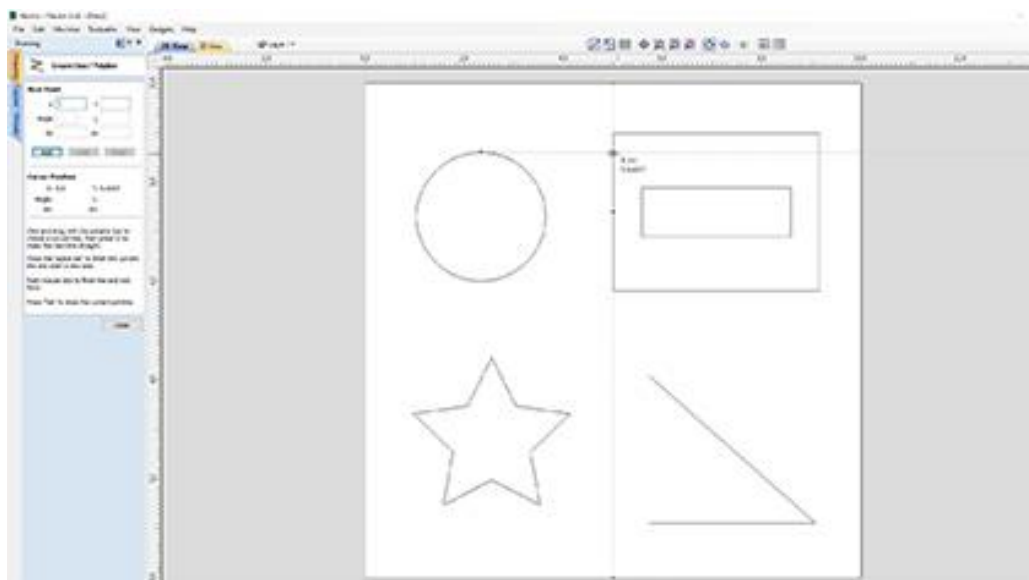
Motor Tuning berfungsi untuk mengatur performa motor yang dibutuhkan. Ada beberapa poin yang perlu diperhatikan dalam pengaturan *Motor Tuning* diantaranya adalah *Steps Per*, *Velocity*, dan *Acceleration* (Harrizal *et al.*, 2017).

2.13 *Software Aspire*

Perangkat lunak *Vetric Aspire* adalah perangkat lunak mandiri yang memungkinkan untuk melakukan pembuat desain pada komputer (CAD) dan membuat jalur alat (CAM) dalam satu program. *Aspire* kemudian mengonversi *toolpath* menjadi *G-Code* untuk mesin CNC tertentu dalam fungsi yang disebut *post-processing*. Pengguna juga dapat mengimpor banyak file berbeda dari program lain ke *Vetric Aspire*. Biasanya, sebagian besar program CAD dan CAM berjalan di platform *Windows*, tetapi ada beberapa program yang berjalan di

Mac. *Vetric Aspire* bukan lintas platform dan hanya berjalan di komputer *Windows*. Pengguna mungkin juga ingin menyelidiki program perangkat lunak gratis seperti *Blender* dengan kemungkinan *add-on* untuk CNC (Mongeon, 2015).

Software Vetric Aspire CNC adalah solusi yang media software mudah dipelajari dan elegan untuk pekerjaan kompleks dalam merancang dan membuat komponen 2D, 2.5D dan 3D dengan mesin CNC, *Software Vetric Aspire CNC* juga memiliki alat yang memungkinkan untuk mengubah sketsa 2D, foto, gambar, dan karya seni digital menjadi model *relief* 3D yang mendetail dan kemudian menghitung jalur kasar dan alat *finishing* 3D untuk memotongnya secara akurat. Media ini dapat membantu untuk membuat market produk mesin dengan komputer dalam bentuk program atau gambar terprogram yang dapat diakses pada mesin CNC, baik pada mesin bubut CNC maupun mesin frais CNC. Media *Software Vetric Aspire CNC* ini sangat baik digunakan pada mata pelajaran CNC karena media *Software Vetric Aspire CNC* ini mempunyai banyak fitur hingga saat ini (Akbar dan Susanti, 2021). Berikut adalah tampilan utama untuk *software Aspire* ditunjukkan pada **Gambar 2.11**.

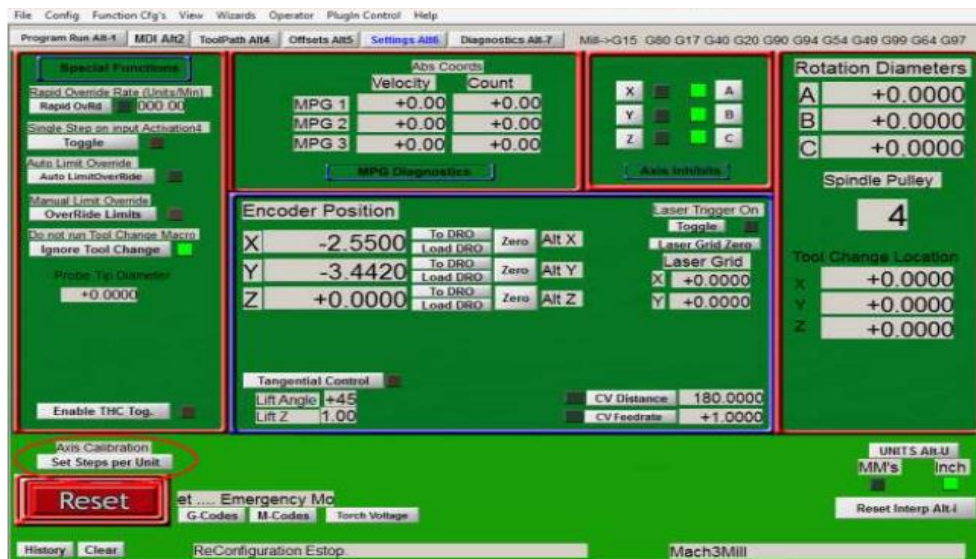


Gambar 2.11 Tampilan Utama *Software Vetric Aspire* (Anonim, 2021).

2.14 Uji Kalibrasi

Suatu alat ukur dikatakan tepat jika mempunyai akurasi (*accuracy*) yang baik, yaitu hasil ukur menunjukkan ketidakpastian yang kecil. Dapat juga dipahami sebagai seberapa dekat hasil ukur dengan nilai benarnya. Dalam hal ini sebelum sebuah alat ukur digunakan, harus dipastikan bahwa kondisi alat benar-benar baik dan layak untuk digunakan yaitu alat dalam keadaan terkalibrasi dengan baik. Kalibrasi yang buruk akan menyebabkan ketidakpastian hasil ukur menjadi besar (Pandiangan dan Arkundato, 2018).

Alat ukur perlu diteliti kalibrasinya sebelum dipergunakan agar hasil ukurnya dapat dipercaya. Salah satu yang biasanya dilakukan untuk mengkalibrasi adalah selalu menempatkan jarum penunjuk pada titik nol yang sesungguhnya, saat alat akan digunakan. Sering pada sebuah alat ukur jarum penunjuk tidak berada pada titik nol yang semestinya, sehingga saat digunakan nilai baca selalu lebih besar atau lebih kecil dari yang seharusnya, sehingga menyumbang apa yang disebut ralat sistematis. Secara umum pengertian kalibrasi di sini adalah membandingkan alat ukur dengan referensi. Referensi (standar) yang digunakan untuk mengkalibrasi alat ukur Anda dapat ditempuh dengan beberapa tahap yaitu dengan tahapan standar primer, standar sekunder, maupun dengan standar lain yang diketahui (Pandiangan dan Arkundato, 2018). Kalibrasi terhadap pergerakan mesin dilakukan agar ukuran pergerakan mesin sesuai dengan perintah pada komputer. Kalibrasi mesin CNC dapat dilakukan dengan beberapa langkah yaitu pada tampilan awal Mach3 pilih "*Settings Alt6*" sehingga muncul tampilan seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2.12 Pengaturan Mach3 Untuk Kalibrasi (Harrizal *et al.*, 2017).

Selanjutnya pilih "Axis Calibration" dengan mengklik *Set Steps per Unit* untuk mengkalibrasi mesin dilakukan terhadap ke tiga sumbu mesin yaitu X, Y, dan Z. Pada Mach3 *option* X dipilih untuk melakukan kalibrasi pada *X-axis*, dilanjutkan dengan pilihan Y untuk melakukan kalibrasi pada sumbu-Y dan Z untuk melakukan kalibrasi pada *Z-axis*. Untuk mengkalibrasi pada *X-axis* pada mesin CNC dilakukan dengan cara mengklik *X-axis*. Kemudian memasukkan nilai perpindahan yang diinginkan. Contoh masukkan angka 50, kemudian klik *OK*. Perlu diingat sebelum mengklik *OK*, perhatikan dan beri tanda pada posisi awal *X-axis* pada mesin CNC. Ketika telah klik *OK*, maka *X-axis* pada mesin akan bergerak dan berpindah posisi. Beberapa saat kemudian, ukur jarak perpindahan *X-axis* dalam satuan milimeter. Masukkan nilai ukuran yang didapat ke dalam menu kalibrasi Mach3. Setelah itu, *X-axis* telah berhasil dikalibrasi. Selanjutnya di klik *YES* apabila telah yakin bahwa *X-axis* benar-benar telah terkalibrasi, atau klik *NO* apabila masih terdapat keraguan terhadap hasil kalibrasi. Selanjutnya kalibrasi dapat kembali dilakukan seperti langkah-langkah sebelumnya. Setelah *X-axis* selesai dikalibrasi, metode yang sama juga dapat dilakukan untuk mengkalibrasi pergerakan mesin pada sumbu-Y dan Z (Harrizal *et al.*, 2017).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan mulai bulan Juli - Desember 2023. Kegiatan penelitian ini terdiri dari penentuan komponen yang digunakan, perancangan mesin CNC, perancangan sistem kontrol mesin, pembuatan program untuk menjalankan mesin, pengujian sistem kontrol, pengambilan data dan analisis data. Proses penelitian dilakukan di Ruang Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian yang telah dilakukan memerlukan peralatan dan bahan untuk membuat rancang bangun mesin CNC *laser cutter 3-axis*. Peralatan dan bahan berfungsi sebagai penunjang utama untuk membuat kerangka dan sistem pada mesin CNC ini. Adapun alat dan bahan yang digunakan yaitu:

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Alat-Alat Penelitian.

No.	Nama Alat	Fungsi
1.	Laptop	Membuat desain model dua dimensi, mengubah menjadi <i>G-Code</i> menggunakan aplikasi <i>Aspire</i> dan mengubah perintah menjadi kontroler mesin CNC menggunakan aplikasi <i>Mach3</i> .
2.	Mesin Las	Menyambungkan komponen rangka mesin.
3.	Kabel Konektor USB	Mentransmisikan dan memasukan program.
4.	Peralatan kerja lainnya	Alat pendukung dalam pembuatan mesin seperti obeng, bor, solder, tang potong, gergaji, penggaris siku, meteran, gunting, jangka sorong dan lain-lain.

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3.2 Bahan-Bahan Penelitian.

No.	Nama Bahan	Fungsi
1.	<i>Laser Cutting</i>	Untuk melakukan proses pemotongan bahan baku dengan ketebalan yang berbeda menggunakan teknologi sinar <i>laser</i> yang difokuskan pada satu titik.
2.	Akrilik	Untuk bahan yang akan dipotong
3.	Besi Pejal	Untuk membuat komponen bantalan poros <i>Linear Shaft</i> dan dudukan motor <i>stepper</i> .
4.	Besi Kanal U	Untuk pembuatan komponen rangka depan dan rangka belakang.
5.	Baut	Untuk menyatukan antara sisi benda yang satu sama lain di dalam proses pembuatan mesin CNC.
6.	<i>Cylinder Linear Shaft</i>	Untuk dudukan mesin agar bisa bergerak.
7.	<i>Linear Bearing</i>	Untuk membantu mengurangi intensitas dari gesekan dari dua komponen mesin.
8.	<i>Ball Screw</i>	Sebagai pemindah gerak dari putaran motor <i>axis</i> menjadi gerakan translasi linier bolak-balik meja atau kepala mesin.
9.	<i>Pillow Block Bearing</i>	Untuk menampung bantalan dalam beban rendah.
10.	<i>Flexible Coupling</i>	Untuk meneruskan daya untuk ditransmisikan dari sistem sebelum <i>coupling</i> menuju sistem setelah <i>coupling</i> dan sebagai pengaman terhadap beban berlebih.
11.	<i>Aluminium Profile</i>	Untuk membuat rangka mesin CNC dan kotak komponen elektronik.
12.	Motor Stepper Nema 23	Untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa gerakan motor <i>discret</i> (terputus).
13.	<i>Driver Motor TB6600</i>	Sebagai sebuah pengontrol untuk mengatur arah dan kecepatan putaran pada motor <i>stepper</i>
14.	<i>Breakout Board Mach3</i>	Sebagai otak pada CNC untuk penghubung sinyal data dari komputer menuju <i>driver</i> .
15.	<i>Clamp Spindle</i>	Untuk mengikat spindle dengan kuat.
16.	<i>Spindle</i>	Sebagai tempat pemasangan alat potong yang

17. Saklar	digunakan untuk menyayat objek. Sebagai tombol <i>ON/OFF</i> untuk menghidupkan atau mematikan mesin CNC.
18. <i>Power Supply</i>	Sebagai sumber tegangan rangkaian elektronik
19. <i>Limit Switch</i>	Untuk memutuskan atau menggabungkan aliran listrik dari motor listrik secara otomatis.
20. Kipas	Menjaga suhu komponen elektronik agar tetap optimal.

3.2.3 Perangkat Lunak

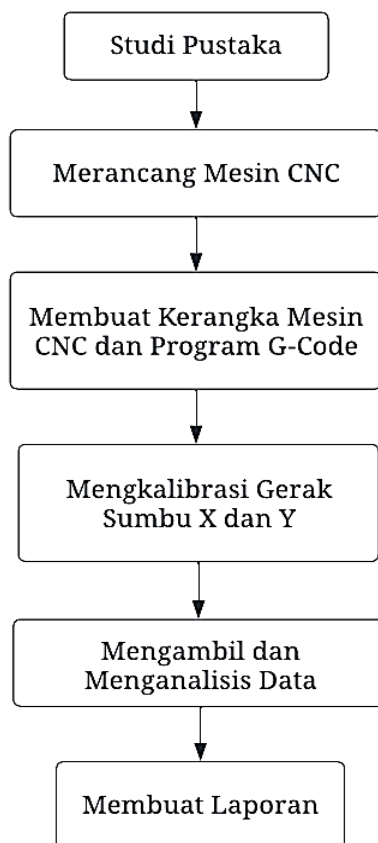
Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3.3 Perangkat Lunak.

No.	Nama Perangkat Lunak	Fungsi
1.	Mach3	Mengubah perintah komputer menjadi sebuah peranti kontroler untuk mesin CNC.
2.	<i>Aspire</i>	Membuat desain model dua dimensi maupun tiga dimensi dan mengubah menjadi Bahasa pemrograman <i>G-Code</i> .
3.	Sketch Up	Membuat desain kotak komponen elektronik dan mesin CNC.
4.	Fritzing	Membuat skematik rangkaian elektronik.

3.3 Prosedur Penelitian

Perancangan mesin CNC *laser cutter 3 axis* ini terdapat tahapan yang dilakukan yaitu menentukan komponen yang akan digunakan, merancang kerangka mesin, merancang sistem mekanik mesin CNC, membuat program untuk menjalankan mesin, mengkalibrasi mesin dengan Mach3, menguji mesin, mengambil data, menganalisa hasil data dan mengambil kesimpulan dari hasil data. Tahapan yang dilakukan pada perancangan mesin CNC *laser cutter 3 axis* ditunjukkan dalam bentuk diagram alir seperti pada **Gambar 3.1**.

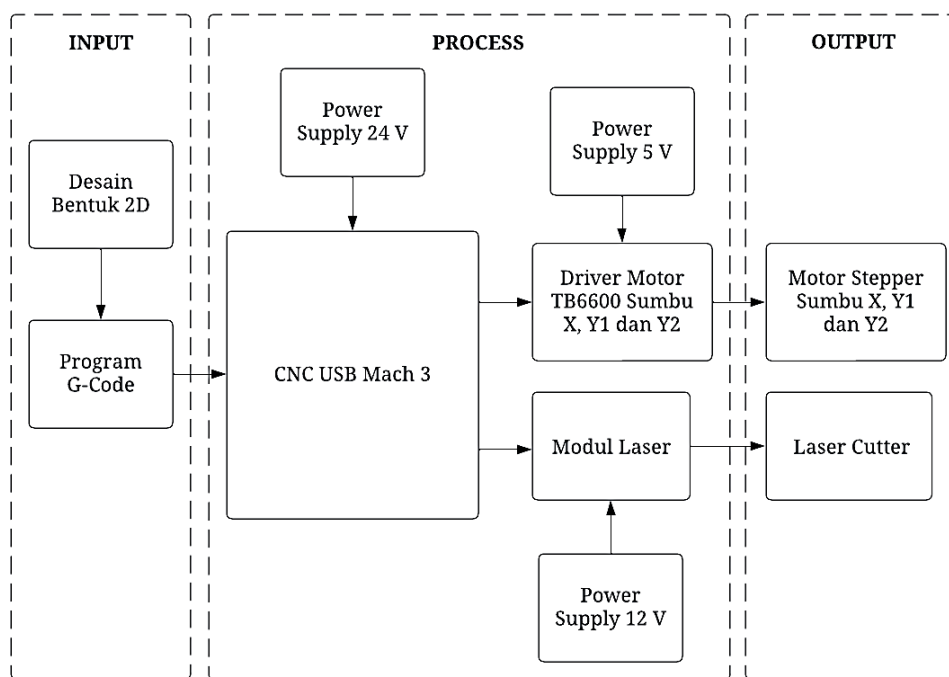


Gambar 3.1 Diagram Alir Rancangan Mesin CNC.

3.3.1 Perancangan Sistem Mesin CNC *Laser Cutter 3-Axis*

Tahapan perancangan sistem mesin CNC ini dilakukan untuk merancang perangkat hardware mesin CNC *laser cutter*. Sistem kontrol mesin CNC *laser cutter 3-axis* ini menggunakan USB Mach3 sebagai kontroler untuk mengontrol seluruh sistem dari mulai *input*, *output* hingga pengiriman data ke motor *stepper* dan motor DC. *Power supply* digunakan sebagai sumber daya yang dipakai pada rangkaian. Masukan dari *software aspire* yang berupa *G-Code* agar terbaca oleh modul CNC. Kemudian data yang masuk akan dikirimkan ke mikrokontroler Mach3 menggunakan USB serial. USB Mach3 terhubung dengan motor *driver* TB6600. *Driver* ini berfungsi menerima dan membaca data sebelumnya kemudian menghasilkan output untuk mengendalikan pergerakan motor *stepper*. Motor *stepper* masing-masing bekerja terhadap Sumbu-X, Sumbu-Y1 dan sumbu Y2 yang kemudian mengirimkan perintah kepada motor DC untuk menggerakkan *laser*. *Breakout Board* USB Mach3 juga terhubung dengan *limit*

swith yang berfungsi untuk memberi batasan pada motor *stepper* agar tidak bekerja melewati bidang kerja yang telah ditentukan. Berikut merupakan diagram blok rancangan sistem kontrol yang akan digunakan pada mesin CNC *laser cutter 3-axis* yang diperlihatkan pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem CNC *Laser Cutter*.

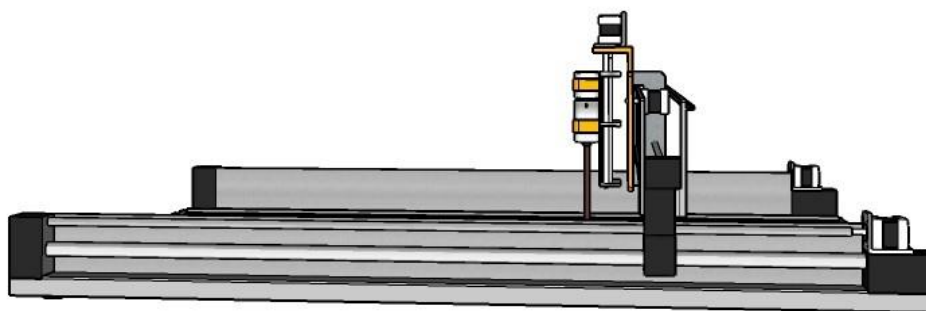
Berikut merupakan tahapan dalam pembuatan mesin CNC *laser cutter 3-axis*.

1. Tahap perancangan sistem kontrol mesin CNC *laser cutter 3-axis* diawali dengan membuat skematik rangkaian dan desain *hardware* dari mesin CNC 3-axis. *Driver* motor yang digunakan yaitu TB6600, motor *stepper* tipe Nema-23 dan *Breakout Board* USB Mach3.
2. Tahap pemrograman bertujuan untuk menjalankan sumbu gerak mesin CNC dengan menggunakan *software aspire* untuk mendesain dan *software* Mach3 untuk mengubah gambar menjadi *G-Code* dengan kontroler *Breakout Board* USB Mach3.
3. Tahap pengujian akurasi dan kalibrasi bertujuan untuk mengetahui kemampuan, akurasi dan reipabiliti mesin CNC *laser cutter 3-axis* dengan menguji semua Sumbu-Yang digunakan (Sumbu-X, Y1 dan Y2). Kalibrasi terhadap pergerakan mesin dilakukan agar ukuran pergerakan mesin sesuai dengan perintah pada komputer. Pengujian dilakukan dengan cara

menggerakkan sumbu menggunakan *software* dengan jarak yang telah ditetapkan kemudian mengukur jarak pergerakan pada mesin.

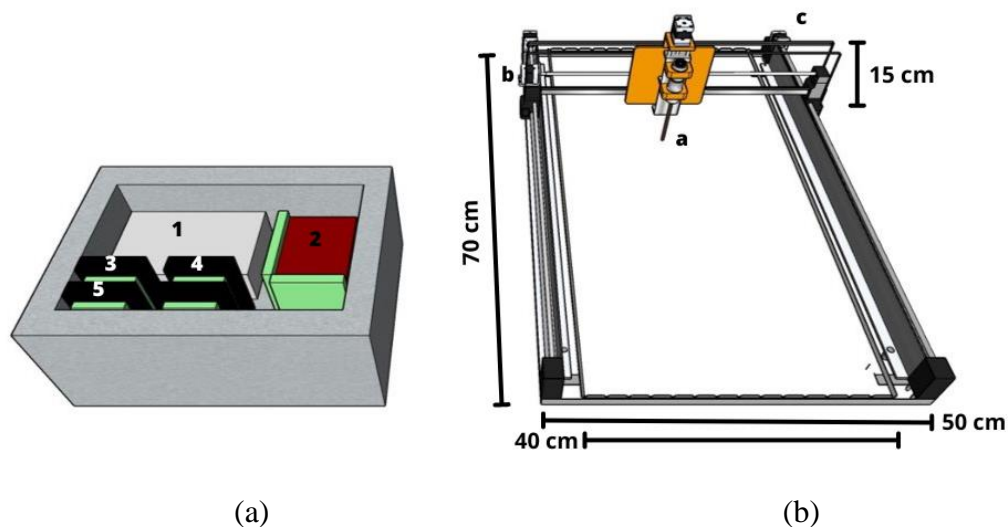
3.3.2 Perancangan Desain Mesin CNC *Laser Cutter*

Pada penelitian ini dirancang sebuah mesin CNC *laser cutter 3-axis* menggunakan bahan *aluminium extrusion profile* dan sistem kontrol menggunakan modul *breakout board* USB Mach3 sebagai kontroler, *driver* motor TB6600, motor *stepper* Nema-23, dan perangkat lunak Mach3. Berikut ini adalah desain dari mesin CNC *laser cutter 3-axis* yang disajikan pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 Desain Mesin CNC *Laser Cutter* Tampak Samping.

Dalam desain mesin yang ditunjukkan **Gambar 3.3** yaitu menggunakan bahan *aluminium extrusion profile* dengan ukuran mesin 70 cm×50 cm. *Driver* motor *stepper* TB6600, *power supply*, dan *Breakout Board* USB Mach3 diletakkan pada kotak komponen elektronik. *Driver* motor *stepper* TB6600 dihubungkan dengan motor *stepper* Nema-23 yang telah dipasang di kerangka mesin CNC *laser cutter*. *Driver* motor TB6600 dan motor *stepper* yang digunakan sebanyak empat buah. Berikut merupakan penjelasan dari desain mesin CNC *laser cutter 3-axis* dan *box* kontroler yang digunakan untuk tempat elektronik kontroler mesin CNC yang dijelaskan pada **Gambar 3.4**.



Gambar 3.4 a) Kotak Komponen Elektronik b) Kerangka Mesin CNC *Laser Cutter 3-Axis*.

Keterangan bagian kotak komponen elektronik pada **Gambar 3.4 (a)**.

1. *Power supply 24 V, 12 V dan 5 V.*
2. *Breakout Board USB Mach3*
3. *Driver motor TB6600 Sumbu-X*
4. *Driver motor TB6600 Sumbu-Y1*
5. *Driver motor TB6600 Sumbu-Y2*
6. *Relay 1 Channel*
7. *Kipas AC*

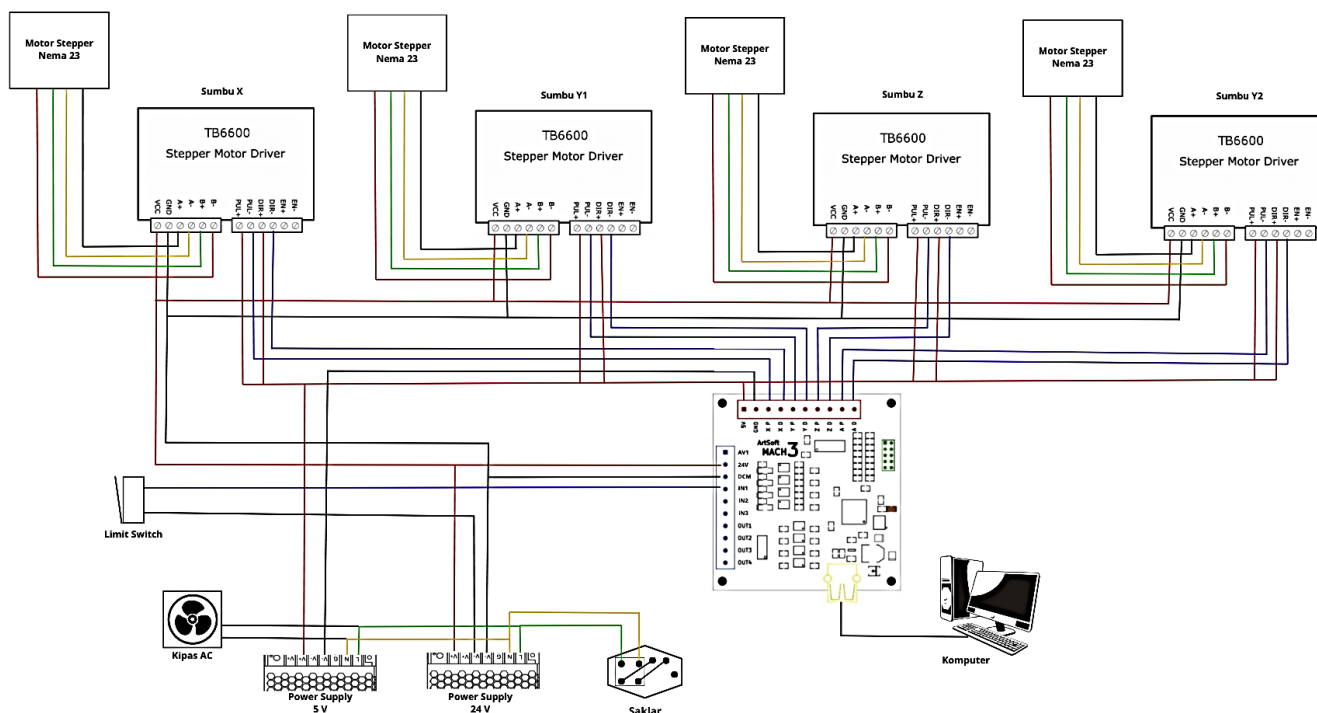
Keterangan kerangka mesin CNC *laser cutter 3-axis* pada **Gambar 3.4 (b)**

- a. *Laser 40 W*
- b. *Motor stepper sebagai Sumbu-X (Kanan Kiri: 40 cm)*
- c. *Motor stepper sebagai Sumbu-Y (Maju Mundur: 60 cm)*
- d. *Limit switch*

3.3.3 Skematik Rangkaian Elektronik Mesin CNC *Laser Cutter*

Penelitian ini menggunakan USB Mach3 *motion card* sebagai *breakout board* mikrokontroler *driver* motor TB6600 berfungsi untuk mengontrol arah dan kecepatan motor *stepper*. Motor *stepper* yang digunakan yaitu bertipe Nema-23 berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Rangkaian

sistem kontrol *Breakout Board Mach3* mesin *CNC Laser Cutter 3-Axis* yang akan digunakan pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.5 Rangkaian Elektronik Sistem Kontrol Mesin CNC.

Bentuk rangkaian skematik dari sistem kontrol mesin CNC yang akan dibuat ditunjukkan pada **Gambar 3.5**. Setiap pin pada *driver* motor dan motor *stepper* akan dihubungkan ke USB Mach3 *motion card* sebagai *breakout board* mikrokontroler.

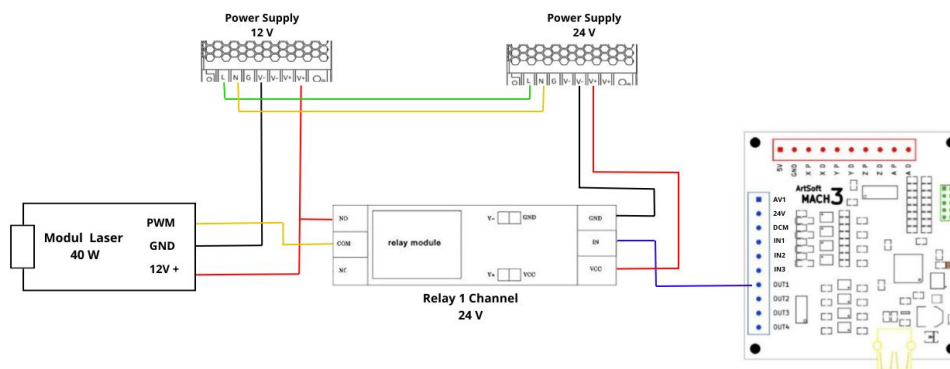
1. Pada *driver* motor sumbu-X, pin DIR (-) dihubungkan dengan pin XD pada USB Mach3. Pin PUL (-) dihubungkan dengan pin XP pada USB Mach3. Dibutuhkan tegangan sebesar **24 V** untuk dapat mengoperasikan *driver* motor sumbu-X.
2. Pada *driver* motor sumbu-Y, pin DIR (-) dihubungkan dengan pin YD pada USB Mach3. Pin PUL (-) dihubungkan dengan pin YP pada USB Mach3. Dibutuhkan tegangan sebesar **24 V** untuk dapat mengoperasikan *driver* motor sumbu-Y.
3. Pada *driver* motor sumbu-A, pin DIR (-) dihubungkan dengan pin AD pada USB Mach3. Pin PUL (-) dihubungkan dengan pin AP pada USB Mach3.

Dibutuhkan tegangan sebesar 24 V untuk dapat mengoperasikan *driver* motor sumbu-A.

4. Pin *power interface* motor *driver* A^+, A^-, B^+, B^- dihubungkan pada pin 2-*phase hybrid stepper* motor Nema-23 yang berfungsi sebagai penentu arah putaran motor *stepper*.
5. Pin *input* 3 USB *motion card* Mach3 dihubungkan pada pin *limit switch* yang disusun secara paralel tiap masing-masing sumbu.
6. Pin *input* 4 USB *motion card* Mach3 dihubungkan pada pin *emergency stop*.
8. Pin *out* 4 USB *motion card* Mach3 dihubungkan pada pin *relay*.
7. Port USB pada USB *motion card* Mach3 digunakan untuk dihubungkan pada laptop/PC.

3.3.4 Skematik Rangkaian *Laser*

Rangkaian ini terdapat *relay* dan modul *laser* 40 W yang terhubung ke kontroler Mach3. *Relay* dalam rangkaian ini digunakan untuk mengontrol daya *laser* dengan sinyal PWM dari modul *laser* 40 W. Jenis *relay* yang digunakan yaitu *relay one channel*. Pada skema ini menggunakan *pin Normally Open* (NO) agar kondisi posisi awal yang terbuka atau arus listrik yang mengalir itu terputus. Rangkaian pertama dengan menghubungkan *relay* dan Mach3 yaitu *port in* dari *relay* terhubung dengan *port out 1* pada Mach3. Dalam rangkaian kedua menghubungkan modul *laser* 40 W dan Mach3 yaitu *port* PWM 12V terhubung dengan *COM* pada *relay*. Dalam rangkaian ketiga menghubungkan modul *laser* 40 W dengan *relay* yaitu *port VCC* pada modul *laser* 40 W terhubung dengan *port NO* dari *relay* agar kondisi awal pada *laser* tidak mengeluarkan dulu sinar *lasernya* dan *port COM* pada *relay* terhubung dengan PWM pada modul *laser* 40 W. Dalam rangkaian keempat menghubungkan modul *laser* 40 W dan *power supply* yaitu *port GND* pada modul *laser* 40 W terhubung dengan *port L* dari *power supply*. Kemudian rangkaian terakhir menghubungkan *relay* dan *power supply* yaitu *port GND* pada *relay* terhubung dengan *port V-* dari *power supply* dan *port VCC* pada *relay* terhubung dengan *port V+* dari *power supply*.



Gambar 3.6 Rangkaian Elektronik Modul *Laser* 40 W.

3.3.5 Pengujian Mesin CNC *Laser Cutter*

Pengujian mesin CNC *laser cutter 3-axis* dilakukan dengan mengambil data pada mesin CNC untuk mengukur pada masing-masing Sumbu-Yang kemudian akan dibandingkan nilai input dan nilai hasil pengukuran. Kalibrasi bertujuan untuk memperoleh nilai akurasi, presisi, dan nilai *error*, Berikut ini tabel data pengamatan pada sumbu-X ditunjukkan pada **Tabel 3.4** dan Sumbu-Y ditunjukkan pada **Tabel 3.5**.

Tabel 3.4 Data Pengujian Pergerakan Sumbu-X

No	Nilai <i>Input</i> Pemotongan (mm)	Nilai Hasil Pemotongan (mm)	Nilai Penyimpangan (mm)	<i>Error</i> (%)	Akurasi (%)
1.	10				
2.	20				
3.	30				
4.	40				
5.	50				
...	...				
20.	200				
	Rata-rata				

Tabel 3.5 Data Pengujian Pergerakan Sumbu-Y

No	Nilai <i>Input</i> Pemotongan (mm)	Nilai Hasil Pemotongan (mm)	Nilai Penyimpangan (mm)	<i>Error</i> (%)	Akurasi (%)
1.	10				
2.	20				
3.	30				
4.	40				
5.	50				
...	...				
20.	200				
	Rata-rata				

Nilai akurasi, presisi dan error dapat diperoleh dengan menggunakan **Persamaan (3.1)** dan **(3.2)**.

$$A = \left(1 - \left|\frac{Y-X}{Y}\right|\right) \times 100\% \dots \dots \dots (3.1)$$

$$E = \left|\frac{Y-X}{Y}\right| \times 100\% \dots \dots \dots (3.2)$$

Dengan:

A : Nilai Akurasi (%)

E : Nilai *Error* (%)

Y : Nilai Referensi/ Nilai Standar

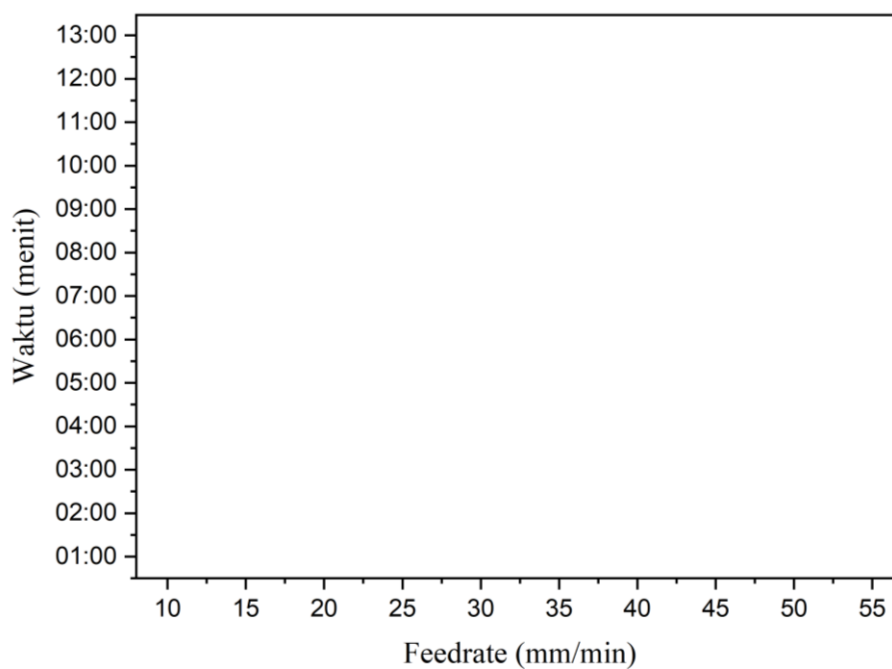
X: Nilai Parameter ke-n pada alat (Pandiangan dan Arkundato, 2018).

Setelah pengujian dan kalibrasi berhasil dilakukan, kemudian dilanjutkan dengan pengambilan data uji coba mesin CNC pada persegi. Tahap uji coba ini merupakan bentuk dari realisasi mesin CNC *laser cutter 3-axis*. Data pengamatan akan disajikan dalam **Tabel 3.6**.

Tabel 3.6 Hasil Bentuk Persegi yang Dipotong Mesin CNC *Laser Cutter*

No	<i>Feedrate</i> (mm/menit)	Nilai <i>Input</i> Pengukuran (mm)	Nilai Hasil Pengukuran (mm)		Akurasi (%)	<i>Error</i> (%)
			Sisi-X	Sisi-Y		
1.	35	10				
2.	35	20				
3.	35	30				
4.	35	40				
5.	35	50				
...	35	...				
20.	35	200				

Data pengamatan hasil uji coba mesin CNC yang telah diperoleh kemudian menganalisa data yang didapatkan. Data pengamatan hasil analisa akan disajikan dalam bentuk grafik kurva seperti pada **Gambar 3.6**.

**Gambar 3.7** Grafik Data Hasil Pengujian Mesin CNC *Laser Cutter*.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang didapatkan dalam penelitian ini maka diperoleh simpulan sebagai berikut.

1. Rancangan desain mesin CNC *laser cutter 3-axis* ini telah berhasil dibuat dan dirangkai sesuai dengan rancangan yang dibuat. Terdapat kotak elektronik yang berguna sebagai sistem kontrol dan kerangka mesin CNC sebagai sistem mekaniknya.
2. Pengujian pergerakan Mesin CNC *laser cutter 3-axis* yang telah dilakukan menghasilkan nilai rata-rata akurasi pada sumbu-X sebesar 99,3% dan sumbu-Y sebesar 99,2% serta menghasilkan nilai rata-rata *error* pada sumbu-X sebesar 0,7 % dan sumbu-Y sebesar 0,8 %.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka terdapat saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Menambahkan lebih banyak *axis* untuk gerakan yang lebih kompleks seperti pergerakan berputar horizontal dan pergerakan berputar vertikal.
2. Menggunakan *laser* dengan spesifikasi yang lebih tinggi seperti *laser* gas CO₂.
3. Memperbesar kecepatan agar dapat mencapai waktu yang lebih singkat untuk memotong benda kerja.
4. Meningkatkan versi aplikasi Mach3 dan aplikasi *Aspire* agar dapat lebih mendukung pengaturan mesin CNC *laser*.
5. Menambahkan parameter lainnya untuk pengujian kinerja *laser* seperti variasi daya.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, A., dan Susanti, N. A. (2021). Penerapan Software Vetric Aspire CNC untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa pada Mata Pelajaran CNC dengan Pembuatan Grafir di SMK Taruna Jaya Prawira Tuban. *JPTM*, 10(2), 21–25.
- Al Habsi, R. K. H., and Rameshkumar, G. R. (2016). Design and Fabrication of 3-Axis Computer Numerical Control (CNC) Laser Cutter. *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*, 7(5), 7–16.
- Anonim. (2022). *TB6600 Stepper Motor Driver : Datasheet dan Its Applications*. <https://www.watelectronics.com/tb6600-stepper-motor-driver-module/>. (Diakses 26 April 2023)
- Anonim. (2021). *Vetric Supercharge Your CNC : Unleash Your Creativity With Aspire*. <https://www.vetric.com/products/aspire>. (Diakses 30 Mei 2023).
- Ariyanto, N. A., dan Usman, M. K. (2018). Pengaruh Variasi Kecepatan Feeding pada CNC Router 3 Axis dengan Material Alumunium dan Acrylik. *Journal Mechanical Engineering*, 7(2), 17–20.
- Chiang, L. E., and Ramos G., J. (1994). CNC Control of a Laser Cutting Machine. *Proceedings of 1994 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE '94)*, 236–241.
- Desphande, S. V. (2018). Design and Fabrication Of 3-Axis CNC Milling Machine. *Jurnal, Engineering Research and General Science*, 6(4), 34–38.
- Dhaware, Y., Palkuntwar, P., Narkhede, H., Meher, R., Chavan, P., and Gandevia, B. (2019). Review on Comparative Analysis of Ball Screw dan Lead Screw. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 6(6), 769–772.
- Firdaus, M. F., dan Yuhas, D. (2022). Redesign Mesin CNC Router dengan Metode Design for Assembly (DFA). *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, 446–452.
- Firsa, T., Tadjuddin, M., and Farmansyah, H. A. (2017). Development of CNC 4-Axis by Modifying Milling Machine EMCO TU 3-Axis. *Prosiding SNTTM XVI*, 66–71.
- Harrizal, I. S., Prayitno, A., Mesin, J. T., Riau, U., Bina, K., dan Panam, W. (2017). Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin CNC Milling 3 Axis Menggunakan Close Loop System. *JOM FTEKNIK*, 4(2), 1–8.

- Hasibuan, M. R. A., Muhaimin, dan Hardi, S. (2019). Rancang Bangun Mesin CNC Milling 3-Axis untuk Anggrave PCB Berbasis Arduino Uno. *Jurnal TEKTR0*, 3(1), 40–47.
- Jufrizaldy, M., dan Ilyas, M. (2020). Rancang Bangun Mesin CNC Milling Menggunakan System Kontrol GRBL untuk Pembuatan Layout PCB. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 4(1), 37–44.
- Kelly, J. F., and Daniel, P. H. (2009). *Build Your Own CNC Machine* (Volume 1). Apress L P: Amerika Serikat.
- Kemenperin. (2018). *Berita Industri: Industri Kreatif Masih Potensial*. <http://www.kemenperin.go.id/artikel/4060/Industri-Kreatif-Masih-Potensial>. (Diakses 2 Desember 2023).
- Kurniawan, H. (2019). Potensi Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) Sebagai Pendeteksi Bakteri (Studi Awal Detektor Makanan Halal). *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 3(1), 1–10.
- Kurniawan, I. D., Armando, J. K., Etsa, L. I. M. G., Hardianto, V. T., dan Prabandono, B. (2020). Perancangan Mesin CNC LASER untuk Pengerjaan Pipa Acrylic. *Industrial and Mechanical Design Conference*, 2, 34–43.
- Mashuri, M., dan Sugianto, M. (2014). Analisa Penggunaan Lensa Silinder Untuk Mengubah Bentuk Berkas Laser Dioda Menjadi Bentuk Garis. *JOM FMIPA*, 1(2), 228–234.
- Mongeon, B. (2015). *3D Technology in Fine Art and Craft (Exploring 3D Printing, Scanning, Sculpting and Milling)*. CRC Press: Amerika Serikat.
- Muchlis, A., Ridwan, W., dan Nasibu, I. Z. (2021). Rancang Bangun Mesin CNC (Computer Numerical Control) Laser dengan Metode Design for Assembly. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering (JJEEE)*, 3(1), 23–27.
- Nayorama, F., dan Sedyono, J. (2016). *Analisa Sumbu Z pada Proses Kalibrasi dan Pergerakan Mesin CNC Router*. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Nugroho, A. W. (2015). *Rancang Bangun Mesin PC Based CNC Milling Tiga Sumbu (Sistem Kontroler dan Analisa Torsi Motor Stepper)*. Dissertation. Universitas Sebelas Maret.
- Pandiangan, P., dan Arkundato, A. (2018). Ketidakpastian dan Pengukuran. *In Modul Fisika*. 1–35.
- Patonra, A. H., Masita, S., Wibowo, N. R., dan Fitriati, A. (2020). Rancang Bangun Media Pembelajaran Praktik Motor Stepper. *Mechatronics Journal in Professional and Entrepreneur (MAPLE)*, 2(1), 7–11.
- Prakoso, I. (2014). Analisa Pengaruh Kecepatan Feeding terhadap Kekasaran Permukaan Draw Bar Mesin Milling Aciera dengan Proses CNC Turning. *Jurnal Teknik Mesin Mercu Buana*, 3(3), 1–6.

- Pramono, G. E., Yuliaji, D., Waluyo, R., dan Jaenal. (2018). Rancang Bangun CNC Mini Router 3 Axis untuk Keperluan Praktikum CAD / CAM. *Jurnal Aplikasi Mekanika dan Energi*, 1(1), 6–14.
- Priyatno, D. (2009). *SPSS Analisis Korelasi, Regresi dan Multivarite*. Gava Media: Yogyakarta.
- Rattat, C. (2017). *CNC Milling For Makers*. Rocky Nook: Amerika Serikat.
- Setyoadi, Y., dan Latifah, K. (2015). Integrasi Software CAD-CAM dalam Sistem Operasi Mesin Bubut CNC. *Jurnal Informatika UPGRIS*, 1(2), 149–159.
- Suharto, R D, P. F., Pratomo, A. W., dan Paryono. (2020). Prototipe Mesin CNC Diode Laser Cutting 5500 Milliwatt untuk Pembuatan Produk Kreatif Bahan Akrilik. *Jurnal Politeknologi*, 19(2), 169–178.
- Suharto, Saputra, E., dan Setiyawan, T. (2021). *Monograf Prototipe Mesin CNC Laser Gas CO2-40 watt Untuk Pembuatan Produk Kreatif*. Bintang Semesta Media: Yogyakarta.
- Suk, H. S., Seoang, K. K., Dae, H. C., and Strond, I. (2008). *Theory and Design of CNC Systems*. Springer: London.
- Sulistri, E., dan Masturi. (2013). Analisis Interferensi Cahaya Laser Terhambur Menggunakan Cermin Datar “Berdebu” Untuk Menentukan Indeks Bias Kaca. *Jurnal Fisika*, 3(1), 1–8.
- Surinto. (2020). *Rancang Bangun Mesin CNC Milling 5 Axis Berbasis Microcontroller Mach3 Breakout Board dan Microstep Motor Driver Controller TB6600*. Skripsi. Universitas Pancasakti Tegal.
- Suroso, Lukmana, A., dan Sanyoto, N. T. (2017). Pengembangan Mechanic Cutting dengan Tiga Derajat Kebebasan Berbasis Ballscrew. *Jurnal Manajemen Dan Teknologi*, 17(1), 73–81.
- Susa’at, S. (2015). *Pengaturan Arah Putaran Motor Stepper DC Menggunakan Mikrokontroler 8535*. Skripsi. Universitas Pancasakti Tegal.
- Sutisna, N. A., dan Fauzi, H. (2018). Rancang Bangun Prototipe Mesin Gravitasi Laser Berbasis Mikrokontroler Arduino. *Journal of Industrial Engineering*, 3(2), 90–104.
- Syahriza. (2015). Rancang Bangun Mesin CNC 4 Axis Berbasis PC (Personal Computer). *Jurnal Teknik Mesin Unsyiah*, 3(2), 75–79.
- Syahriza, Firsa, T., dan Zulhalimi. (2021). Rancang Bangun CNC Foam Cutter dengan Gerakan 3 Axis untuk Pemotongan Dekorasi Styrofoam. *Jurnal Teknik Mesin Unsyiah*, 9(1), 13–19.
- Syaifulloh, M., Kabib, M., dan Hudaya, A. Z. (2021). Desain dan Simulasi Tegangan pada Mesin CNC LASER Cutting untuk Produk Berbahan Acrilic. *Jurnal CRANKSHAFT*, 4(1), 39–48.

- Taqwim, M. A., Sucahyo, I., dan Yantidewi, M. (2021). Rancang Bangun Alat Penentu Panjang Fokus Pada Lensa Bikonveks Menggunakan Sensor TEMT6000 Dan Motor Stepper. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 10(2), 81–86.
- Wibowo, W. A. (2017). *Rancang Bangun Woodworking CNC Machine (WCM) 3 Axis (X,Y,Z) Menggunakan Motor Stepper Mach3 PC Base*. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Widiyanto, A. R. (2018). *Prototype Pembuatan CNC dengan Pemanfaatan Motor Stepper Berbasis Arduino Uno*. Skripsi. Universitas Teknologi Yogyakarta.
- Wijaya, P. D., Rivai, M., dan Tasripan. (2017). Rancang Bangun Mesin Pemotong Styrofoam 3 Axis Menggunakan Hot Cutting Pen dengan Kontrol PID. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 2–7.
- Winingsih, P. H. (2015). Rancang Bangun Laser untuk Pembelajaran Optika dalam Menentukan Indeks Bias dan Difraksi Kisi. *Jurnal Science Tech*, 1(1), 77–82.