

Perancangan dan pembuatan mesin CNC CO_2 laser cutting

Design and Fabrication of a CNC CO_2 Laser Cutting Machine

SKRIPSI

Oleh:

Nama: Yov Vandri

NPM: 213030060



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2025**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Yov Vandri
Nomor Pokok Mahasiswa : 213030060
Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Penelitian yang saya kerjakan tidak terdapat karya yang pernah diajukan atau ditulis oleh orang lain,
2. Dalam sepengetahuan saya, tidak terdapat karya yang pernah diterbitkan orang lain atau pernah ditulis oleh orang lain kecuali secara tertulis disitasi/dikutip/diacu dan disebutkan dalam referensi,
3. Laporan yang saya tulis tidak dilakukan *copy paste* dan merubah beberapa kata yang tidak perlu dari karya orang lain dan,
4. Laporan yang saya tulis bukan dari hasil *plagiarism*.

Apabila kemudian hari terdapat atau terbukti jika pernyataan ini tidak benar maka saya siap menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 21 November 2025

Penulis,



Yov Vandri

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

Nama : Yov Vandri
NPM : 213030060
Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS
Jenis Karya : Laporan Penelitian

Telah menyatakan bahwa saya menyetujui telah memberikan Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya saya dengan judul:

“Perancangan dan pembuatan mesin CNC CO₂ laser cutting”

Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini dan perangkat yang ada. Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengelola dalam bentuk database, merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 21 November 2025

Penulis,



Yov Vandri

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Perancangan dan pembuatan mesin CNC CO₂ laser cutting



Yov Vandri

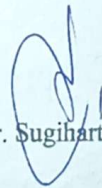
213030060

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Rachmad Hartono, M.T.

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Sugiharto, M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Perancangan dan pembuatan mesin CNC CO_2 laser cutting



Nama: Yov Vandri
NPM: 213030060

Tanggal sidang skripsi: 21 November 2025

Ketua : Dr. Ir. Rachmad Hartono, M.T.

Sekretaris : Dr. Ir. Sugiharto, M.T.

Anggota : Dr. Ir. Bambang Ariantara, M.T.

Anggota : Mohammad Reza Hermawan, S.T., M.T.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala karunia, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul **“Perancangan dan pembuatan mesin CNC CO₂ laser cutting”** Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, para sahabat, dan seluruh pengikutnya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih terdapat berbagai kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari para pembaca sangat diharapkan agar dapat menjadi bahan evaluasi dan pembelajaran di masa mendatang. Dalam proses penyusunan laporan ini, penulis memperoleh bimbingan, bantuan, serta dukungan dari berbagai pihak.

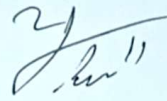
Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Allah SWT yang senantiasa memberikan karunia, kekuatan, dan kesabaran dalam menyusun laporan ini. Terima kasih yang sebesar-besarnya juga penulis sampaikan kepada kedua orang tua tercinta atas doa, semangat, serta dukungan moral dan material yang tiada henti. Penghargaan yang tulus penulis sampaikan kepada Dr. Ir. Rachmad Hartono, M.T., selaku dosen pembimbing utama, yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berharga selama proses penyusunan laporan. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Dr. Ir. Sugiharto, M.T., selaku dosen pendamping, atas saran dan bimbingan yang membantu dalam penyempurnaan laporan ini.

Penulis juga menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin yang dengan tulus telah membagikan ilmu yang bermanfaat serta kepada seluruh karyawan jurusan yang membantu dalam berbagai urusan akademik. Ucapan terima kasih disampaikan pula kepada saudara-saudara tercinta atas doa, semangat, dan dukungan yang tiada henti, serta kepada rekan-rekan di laboratorium yang telah memberikan bantuan, kerja sama, dan dukungan selama proses penelitian dan penyusunan laporan ini.

Akhir kata, penulis mengucapkan Alhamdulillah rabbil ‘alamin dan berharap semoga laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat, baik bagi penulis sendiri maupun bagi seluruh pihak yang membacanya. Wassalamu’alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Bandung, 21 November 2025

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Yov Vandri', with a stylized flourish above the name.

Yov Vandri

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN	i
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
ABSTRAK.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. Latar belakang	1
2. Rumus masalah	2
3. Tujuan	2
4. Manfaat	2
5. Lingkup Masalah.....	2
6. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II STUDI LITERATUR.....	5
1. Kajian pustakan.....	5
2. Mesin yang ada di pasaran	6
3. Sistem mekanik	7
4. Bagian-bagian utama mesin CNC <i>CO₂ laser cutting</i>	8
A. Perangkat potong laser	8
B. Sistem penggerak mesin CNC <i>CO₂ laser cutting</i>	8

C.	Struktur rangka dan meja kerja.....	9
D.	Sistem pendingin mesin CNC <i>CO₂ laser cutting</i>	9
5.	Komponen-komponen utama mesin <i>CO₂ laser cutting</i> yang tersedia di pasaran ..	10
A.	Tabung laser CO ₂	10
B.	Power supply laser CO ₂	11
C.	Cloudray E series black CO ₂ laser head	12
D.	Motor <i>stepper</i>	13
E.	Driver motor <i>stepper</i> TB6600	16
6.	Material baku yang terdapat di pasaran	17
A.	Aluminium Profil	17
B.	Baja Profil Siku	17
C.	Akrilik.....	18
D.	PLA (<i>Polylactic Acid</i>)	18
7.	Software untuk pemodelan atau perancangan.....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		21
1.	Tahapan penelitian	21
2.	Tempat penelitian.....	23
3.	Desain sistem mekanik mesin CNC <i>CO₂ laser cutting</i>	23
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA HASIL PENGUJIAN		50
1.	Pengujian pemotongan mesin CNC laser CO ₂	50
2.	Pengujian grafir mesin CNC <i>CO₂ laser</i>	53
3.	Analisa pengujian.....	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		56
1.	Kesimpulan	56
2.	Saran	56
DAFTAR PUSTAKA.....		57
LAMPIRAN		61

1.	Foto-Foto kegiatan	61
2.	Anggran biaya pembuatan mesin CNC <i>CO₂ laser</i>	63
1.	Data kuesioer penentuan bobot pada kriteria desain	65
2.	Gambar Teknik	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Rancangan mesin laser CO ₂ penelitian-I [10].....	6
Gambar 2. Mesin laser CO ₂ dengan controller mach3 [11].....	6
Gambar 3. mesin laser CO ₂ yang dijual bebas [12].....	7
Gambar 4. laser CO ₂ tube [26].....	11
Gambar 5. Power suply laser CO ₂ [28].....	12
Gambar 6. Cloudray E series black CO2 laser head set [31].....	13
Gambar 7. (a) Motor stepper bipolar (b) Skematis konstruksi motor stepper bipolar.....	14
Gambar 8. Skematis pengaturan posisi poros motor stepper.....	14
Gambar 9. Driver motor stepper TB6600 9-24 v 4A [32].....	16
Gambar 10. Aluminium profil [33].....	17
Gambar 11. profil baja siku [34].....	18
Gambar 12. Akrilik [35].....	19
Gambar 13. Filamen PLA [36].....	20
Gambar 14. Alur diagram penelitian.....	21
Gambar 15. Laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasundan Bandung.....	23
Gambar 16. Sketsa concept A.....	25
Gambar 17. Sketsa concept B.....	25
Gambar 18. Sketsa concept C.....	26
Gambar 19. sketsa referensi.....	26
Gambar 20. Konsep mesin CO ₂ laser cutting.....	31
Gambar 21. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 1.....	35
Gambar 22. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 2.....	36
Gambar 23. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 3.....	37
Gambar 24. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 4.....	38
Gambar 25. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 5.....	38
Gambar 26. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 6.....	39
Gambar 27. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 7.....	40
Gambar 28. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 8.....	41
Gambar 29. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 9.....	42
Gambar 30. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 10.....	43

Gambar 31. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 11	43
Gambar 32. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 12	44
Gambar 33. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 13	45
Gambar 34. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 14	46
Gambar 35. arah gerakan head searah sumbu x	46
Gambar 36. Diagram benda bebas head	47
Gambar 37. Head dan komponen lain yang bergerak searah sumbu Y	48
Gambar 38. hasil proses grafir	54

DAFTAR TABEL

Tabel 1. concept screening	26
Tabel 2. concept scoring	28
Tabel 3. Produk arsitektur	29
Tabel 4. Komponen mesin CO ₂ laser cutting yang dibuat menggunakan 3D printing	31
Tabel 5. Komponen mesin laser CO ₂ yang didapat dipasaran	33
Tabel 6. Parameter pengujian mesin laser CO ₂ untuk memotong benda bentuk persegi ..	51
Tabel 7. Data pengujian mesin CO ₂ laser rakitan untuk memotong bentuk persegi	51
Tabel 8. Parameter pengujian mesin laser CO ₂ untuk memotong bentuk lingkaran	52
Tabel 9. Data pengujian mesin CO ₂ laser rakitan untuk memotong bentuk persegi	53
Tabel 10. parameter proses grafir gambar	54

ABSTRAK

Perkembangan teknologi manufaktur modern telah menghadirkan berbagai inovasi dalam proses pemotongan dan pengukiran material. Salah satu teknologi yang banyak digunakan adalah mesin CNC laser *cutting* berbasis tabung CO₂. Mesin ini memiliki keunggulan dalam hal ketepatan, kecepatan, serta fleksibilitas dibandingkan metode pemotongan konvensional. Selain itu, penggunaan mesin CNC laser *cutting* mampu meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi limbah material, dan menghasilkan kualitas potongan yang konsisten. Hal ini menjadikan teknologi tersebut semakin relevan untuk diterapkan, khususnya dalam industri kreatif dan sektor usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM) yang membutuhkan peralatan produksi berbiaya rendah namun tetap memiliki kinerja optimal. Tujuan utama dari penelitian ini adalah merancang dan membuat sistem mekanik mesin CNC CO₂ laser *cutting* dengan spesifikasi daya 60Watt dan area kerja 500 mm × 800 mm. Mesin yang dikembangkan diharapkan dapat menjadi prototipe dengan harga terjangkau, tetapi tetap memiliki fungsi dan kinerja yang memadai untuk kebutuhan produksi. Dengan rancangan yang sederhana dan berbasis teknologi open-source, penelitian ini berupaya menghadirkan alternatif solusi tepat guna yang dapat digunakan baik dalam bidang pendidikan sebagai media pembelajaran teknologi manufaktur, maupun dalam mendukung kegiatan produksi UMKM agar lebih produktif dan kompetitif. Penelitian ini dilakukan melalui pendekatan eksperimental dengan tahapan utama berupa pembuatan dan perakitan komponen mesin CNC CO₂ laser *cutting*. Proses eksperimen dimulai dengan merancang kerangka mekanik mesin secara terstruktur, dilanjutkan dengan pemilihan serta perakitan sistem transmisi gerak berbasis motor stepper untuk mendukung pergerakan searah sumbu X dan Y. Selanjutnya, dilakukan integrasi tabung laser CO₂ berdaya 60 Watt dengan catu daya laser (*laser power supply*) sehingga sistem mampu menghasilkan keluaran energi yang stabil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe mesin CNC CO₂ laser *cutting* dengan daya 60 Watt mampu melakukan pemotongan material akrilik hingga ketebalan 5 mm dengan tingkat keberhasilan mencapai 90%. Pengujian dimensi spesimen menunjukkan deviasi terbesar sebesar 0,50% pada ukuran lebar maupun diameter, sedangkan pada ukuran 50 mm penyimpangan hanya sebesar 0,20%. Secara keseluruhan, persentase kesalahan maksimum sebesar 0,50% masih berada dalam batas toleransi, sehingga kualitas hasil pemotongan dapat dikategorikan cukup akurat dan konsisten.

Kata kunci: Arduino, CNC, CO₂ laser *cutting*, UMKM

ABSTRACT

The development of modern manufacturing technology has introduced various innovations in material cutting and engraving processes. One widely adopted technology is the CNC laser cutting machine based on a CO₂ tube. This machine offers advantages in terms of precision, speed, and flexibility compared to conventional cutting methods. In addition, the use of CNC laser cutting enhances production efficiency, reduces material waste, and ensures consistent cutting quality. Such advantages make this technology increasingly relevant, particularly for the creative industry and small and medium enterprises (SMEs) that require low-cost production equipment while maintaining optimal performance. The main objective of this research is to design and construct the mechanical system of a CNC CO₂ laser cutting machine with a power specification of 60 Watts and a working area of 500 mm × 800 mm. The developed machine is expected to serve as a cost-effective prototype that maintains adequate functionality and performance for production needs. With a simple design and the application of open-source technology, this research aims to provide an appropriate and affordable solution that can be utilized both in education as a learning medium for manufacturing technology and in supporting SME production activities to become more productive and competitive. This study employed an experimental approach consisting of the fabrication and assembly of machine components. The process began with a structured design of the machine frame, followed by the selection and assembly of a motion transmission system driven by stepper motors to control the X and Y axes. Subsequently, a 60-Watt CO₂ laser tube was integrated with a laser power supply to ensure stable energy output. The results indicate that the prototype CNC CO₂ laser cutting machine with 60-Watt power is capable of cutting acrylic material up to 5 mm in thickness with a success rate of 90%. Dimensional testing of specimens revealed the largest deviation of 0.50% on both width and diameter measurements, while the 50 mm specimen showed only a 0.20% deviation. Overall, the maximum error percentage of 0.50% remains within acceptable tolerance limits, thereby classifying the cutting quality as sufficiently accurate and consistent.

Keywords: Arduino, CNC, CO₂ laser cutting, MSMEs

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Perkembangan teknologi industri manufaktur telah mengalami transformasi besar dalam beberapa dekade terakhir, ditandai dengan hadirnya sistem otomasi dan digitalisasi proses produksi [1]. Salah satu perkembangan teknologi adalah mesin CNC (*Computer Numerical Control*) [2], [3], [4]. Adanya mesin CNC memungkinkan proses pemesinan dilakukan secara otomatis berdasarkan instruksi secara digital sehingga kesalahan proses pemesinan akibat kesalahan manusia dapat dikurangi [5], [6]. Teknologi CNC tidak hanya digunakan dalam skala industri besar, tetapi juga mulai merambah ke sektor industri kecil dan menengah (IKM), pendidikan teknik serta komunitas maker [7], [8].

Salah satu bentuk implementasi mesin CNC yang semakin populer adalah mesin CNC laser *cutting* CO₂. Mesin CNC CO₂ *laser cutting* adalah mesin yang digunakan untuk memotong dan mengukir berbagai material seperti akrilik, kayu lapis, MDF, kain, hingga kulit sintetis [9]. Dibandingkan dengan metode pemotongan konvensional, pemotongan dengan laser CO₂ memiliki sejumlah keunggulan, seperti hasil yang lebih halus, tidak memerlukan kontak fisik langsung, serta mampu membuat bentuk yang kompleks.

Mesin CNC laser *cutting* CO₂ yang tersedia di pasaran saat ini umumnya memiliki harga yang cukup tinggi, dengan desain tertutup dan tidak fleksibel untuk dikembangkan lebih lanjut. Hal ini menjadi hambatan bagi institusi pendidikan dan para pengembang pemula yang ingin mempelajari atau memodifikasi sistem CNC secara mandiri. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah pendekatan rancang bangun sistem CNC CO₂ *laser cutting* yang bersifat *open-source*, modular, dan terjangkau, yang dapat dijadikan sebagai sarana pembelajaran dan pengembangan lanjutan.

Penelitian ini fokus pada perancangan dan pembangunan sistem mekanik mesin CNC CO₂ *laser cutting*, sebagai salah satu komponen utama keseluruhan sistem. Sistem mekanik berperan penting dalam menentukan kestabilan, akurasi gerak, daya tahan, dan kemampuan pengulangan (*repeatability*) mesin CNC. Oleh karena itu, diperlukan perhatian yang serius terhadap aspek mekanik mulai dari pemilihan material, perencanaan struktur rangka, pemilihan sistem transmisi gerak (seperti *belt* dan *rail linear*), hingga proses perakitan.

2. Rumus masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem mekanik mesin CNC *CO₂ laser cutting* yang efisien dan presisi,
2. Komponen mekanik apa saja yang paling sesuai untuk sistem penggerak lensa fokus searah sumbu X dan Y pada mesin CNC *CO₂ laser cutting*,
3. Bagaimana proses perakitan dan integrasi sistem mekanik dapat dilakukan agar mesin berfungsi dengan optimal, dan
4. Bagaimana pengujian performa dari sistem mekanik yang telah dirancang dan dibangun.

3. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini adalah merancang dan membuat sistem mekanik mesin CNC *CO₂ laser cutting* dengan daya 60W dan area kerja 500mm×800mm dengan harga yang terjangkau.

4. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi dunia pendidikan, pelaku IKM dan pengembang (*maker*), serta peneliti lanjutan. Bagi dunia pendidikan, penelitian ini memberikan manfaat sebagai referensi teknis dalam perancangan sistem mekanik mesin CNC yang aplikatif dan dapat dijadikan sebagai proyek pembelajaran teknik mesin atau mekatronika. Bagi pelaku IKM dan pengembang (*maker*), penelitian ini memberikan manfaat sebagai panduan dalam membangun mesin CNC *CO₂ laser cutting* sederhana namun fungsional dengan biaya terjangkau. Bagi peneliti lanjutan, penelitian ini memberikan manfaat sebagai dasar untuk pengembangan sistem kontrol dan elektronik yang lebih kompleks pada tahap berikutnya.

5. Lingkup Masalah

Agar pembahasan ini lebih fokus diperlukan lingkup kerja penelitian. Masalah yang dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya fokus pada perancangan dan pembuatan mesin CNC *CO₂ laser cutting* dua sumbu (X dan Y),

2. Jenis laser yang digunakan dibatasi pada *CO₂ laser cutting* dengan daya 60W,
3. Pemilihan komponen mekanik utama, seperti motor stepper, rel linear, dan sistem transmisi, didasarkan pada kriteria teknis umum dan ketersediaan di pasar lokal,
4. Proses perakitan hanya mencakup integrasi komponen mekanik tanpa melibatkan pengujian material secara detail atau simulasi FEM (*Finite Element Method*), dan
5. Pengujian performa mekanik terbatas pada pengujian dasar, yaitu stabilitas struktur, kehalusan gerakan lensa fokus searah sumbu X dan Y, serta akurasi posisi, tanpa melibatkan pengujian pemotongan atau pengukuran material secara mendalam.

6. Sistematika Penulisan

Laporan penelitian ini terdiri dari lima bab. Kelima bab tersebut yaitu pendahuluan, studi literatur, metode penelitian, analisis, dan kesimpulan.

BAB I PENDAHULUAN: Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II STUDI LITERATUR: Pada bab ini dijelaskan kajian pustaka, sistem mekanik, *software* pemodelan atau perancangan, sistem transmisi, pemilihan material, motor *stepper*, dan perakitan.

BAB III METODE PENELITIAN: Pada bab ini dijelaskan tentang tahapan penelitian dan tempat penelitian. Tahapan penelitian dapat berupa diagram alir atau yang sejenisnya. Pada bab ini dijelaskan juga tahapan perakitan mesin CNC *CO₂ laser cutting*.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA HASIL: Pada bab ini dijelaskan tentang pengujian sistem mekanik, hasil pengujian, dan pembahasan. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian hasil pemotongan dan pengujian pengukuran langkah lensa fokus searah sumbu x dan sumbu y.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN: Pada bab ini dijelaskan tentang kesimpulan dan saran yang terkait dengan perancangan dan pembuatan sistem mekanik mesin CNC *CO₂ laser cutting*.

DAFTAR PUSTAKA: Pada bab ini dijelaskan tentang sumber-sumber acuan yang digunakan dalam penyusunan laporan penelitian. Daftar pustaka memuat referensi berupa buku, jurnal ilmiah, artikel, maupun sumber daring.

LAMPIRAN: Pada bab ini dijelaskan tentang dokumen pendukung yang berkaitan dengan hasil penelitian namun tidak dimuat secara rinci dalam isi utama laporan. Lampiran berfungsi sebagai pelengkap agar pembaca dapat melihat bukti teknis, data, atau informasi tambahan pada penelitian.

BAB II STUDI LITERATUR

1. Kajian pustakan

Beberapa peneliti terdahulu telah melakukan penelitian yang berkaitan dengan mesin *CO₂ laser cutting*. Beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai referensi yaitu penelitian Bayu Lesmana, Ghany Heryana, dan Jatira pada tahun 2023 dan penelitian Samsul Hadi, Mafruddin, dan Tri Cahyuno Wahyudi pada tahun 2021.

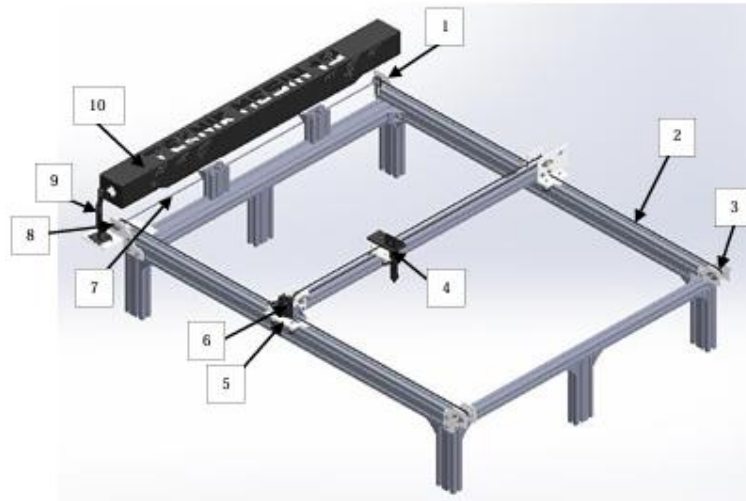
A. Penelitian I-Bayu Lesmana, Ghany Heryana, dan Jatira pada tahun 2023

Penelitian Bayu Lesmana, Ghany Heryana, dan Jatira berjudul “Perancangan Sistem Mekanik Penggerak Sumbu X Dan Y Pada Mesin CNC (Computer Numerical Control) *CO₂ Laser Cutting*”. Penelitian ini membahas perancangan sistem mekanik mesin CNC laser *cutting* *CO₂*. Tujuannya adalah merancang sistem mekanik CNC *CO₂ Laser Cutting* pada penggerak laser *cutting* searah sumbu X dan sumbu Y. Perancangan ini juga mencakup pemilihan komponen mekanik seperti motor stepper, *pulley*, *bearing* maupun *mounting*. Dimensi mesin *CO₂ laser cutting* yang dibuat adalah panjang 1500 mm, lebar 1200 mm, dan tinggi 330 mm. Sistem kontrol pada mesin ini menggunakan Arduino yang mendukung komunikasi serial dengan komputer. G-code yang telah dikonversi melalui perangkat lunak Lightburn dikirimkan ke Arduino untuk menggerakkan motor stepper secara otomatis sesuai perintah pemotongan [10]. Rancangan mesin laser *cutting* *CO₂* hasil penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.

B. Penelitian II-Samsul Hadi, Mafruddin, dan Tri Cahyuno Wahyudi Pada tahun 2021

Penelitian Samsul Hadi, Mafruddin, dan Tri Cahyuno Wahyudi berjudul “Rancang Bangun Mesin CNC Laser Cutting *CO₂* 2 Axis Berbasis Microcontroller dengan *Software Mach3*”. Penelitian ini membahas perancangan mesin CNC *CO₂ laser cutting* menggunakan controller dan *software mach3*. Tujuan penelitian ini adalah merancang dan membuat mesin CNC *CO₂ laser cutting* pada penggerak laser *cutting* searah sumbu X dan sumbu Y. Perancangan ini juga melibatkan pemilihan beberapa komponen mekanik seperti motor stepper, *pulley*, *bearing* maupun *mounting*. Dimensi mesin *CO₂ laser cutting* yang dibuat adalah panjang 600 mm, lebar 600 mm, dan tinggi 300 mm. Sistem kontrol pada mesin ini menggunakan *software mach3* dan *board mach3* yang mendukung komunikasi serial dengan komputer. G-code yang telah dikonversi melalui perangkat lunak mach3 dikirimkan ke *controller mach3* untuk menggerakkan motor *stepper* secara otomatis sesuai

perintah pemotongan [11]. Rancangan mesin *CO₂ laser cutting* hasil penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 1. Rancangan mesin laser CO₂ penelitian-I [10]



Gambar 2. Mesin laser CO₂ dengan controller mach3 [11]

2. Mesin yang ada di pasaran

Mesin *CO₂ laser cutting* merupakan perangkat yang umum digunakan dalam proses *engraving* atau pengukiran seperti, pembuatan logo perusahaan, pola numerik, dan desain grafis lainnya dalam industri fabrikasi. Selain digunakan untuk proses gravir, mesin ini juga banyak dimanfaatkan dalam aplikasi pemotongan, embossing, stamping, dan ukiran pada berbagai material seperti akrilik, kayu, kulit, maupun kaca. Mesin *CO₂ laser cutting* telah banyak tersedia di pasaran dan dapat diperoleh dengan mudah melalui platform *e-commerce*, sehingga menjadi pilihan populer di kalangan pengrajin serta pelaku industri

kecil dan menengah. Namun demikian, mesin *CO₂ laser cutting* yang terdapat di pasaran juga memiliki beberapa kekurangan, antara lain harga yang relatif tinggi. Mesin laser dengan daya 40W dengan dimensi 300mm×200mm mempunyai harga 12.5 juta rupiah dan mesin laser dengan daya 50W dengan dimensi 400mm×400mm mempunyai harga 14.8 juta rupiah. Mesin laser CO₂ yang terdapat di pasaran dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. mesin laser CO₂ yang dijual bebas [12]

3. Sistem mekanik

Sistem mekanik adalah sekumpulan komponen fisik yang saling berinteraksi melalui hubungan gaya dan gerakan untuk menghasilkan atau mentransmisikan energi mekanik [13], [14]. Komponen-komponen dalam sistem ini dapat berupa massa, pegas, peredam, roda gigi, tuas, poros, maupun elemen-elemen struktural lainnya [15]. Sistem ini bekerja berdasarkan hukum-hukum dasar mekanika klasik, khususnya hukum Newton, serta prinsip konservasi energi dan momentum.

Secara umum, sistem mekanik dirancang untuk melakukan fungsi tertentu seperti mengubah arah atau besarnya gaya, mempercepat atau memperlambat gerakan, atau mentransfer daya dari satu bagian ke bagian lainnya. Dalam praktik rekayasa, sistem mekanik dapat ditemukan dalam berbagai bentuk mulai dari mesin sederhana (misalnya tuas dan katrol) hingga sistem kompleks seperti robot industri, kendaraan bermotor, maupun peralatan mekanik presisi.

4. Bagian-bagian utama mesin CNC CO_2 laser cutting

Pada penelitian ini, sistem mekanik memiliki beberapa bagian utama yang saling terkait menjadi satu kesatuan. Beberapa bagian utama mesin CO_2 laser cutting tersebut adalah perangkat potong laser, sistem penggerak, rangka mesin cutting laser, dan sistem pendingin.

A. Perangkat potong laser

Perangkat potong laser merupakan inti mesin CNC CO_2 laser cutting yang berfungsi menghasilkan dan mengarahkan sinar laser untuk proses pemotongan atau pengukiran material [16], [17], [18]. Perangkat potong laser ini terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu tabung laser, penyangga (*holder*) tabung laser, catu daya (*power supply*), cermin pantul, penyangga cermin pantul, kepala laser (*laser head*), dan lensa fokus.

Tabung laser berperan sebagai sumber utama sinar laser yang dihasilkan melalui proses eksitasi gas CO_2 . Penyangga tabung berfungsi untuk menahan tabung agar posisi tabung tetap stabil selama pengoperasian. Catu daya menyuplai energi listrik yang dibutuhkan untuk mengaktifkan tabung laser. Sinar laser yang dihasilkan kemudian diarahkan menggunakan sistem cermin pantul yang dipasang pada penyangga khusus, sehingga sinar dapat menuju kepala laser dengan presisi tinggi. Sinar laser difokuskan oleh lensa fokus sebelum diarahkan ke permukaan material. Proses pemfokusan ini sangat penting untuk menentukan tingkat ketajaman dan kedalaman pemotongan.

B. Sistem penggerak mesin CNC CO_2 laser cutting

Sistem penggerak pada mesin CNC CO_2 laser cutting merupakan salah satu bagian utama yang berperan dalam mengatur pergerakan lensa fokus searah sumbu mesin secara presisi dan terkontrol [19], [20]. Sistem ini dirancang agar mampu menggerakkan lensa fokus sesuai dengan jalur pemotongan yang telah deprogram [21]. Sistem penggerak mesin CNC CO_2 laser cutting terdiri atas beberapa komponen, yaitu motor stepper, driver motor stepper, *idler pulley*, *teeth pulley*, *timing belt*, *rail linier*, *bearing*, *mounting*, dan *braket*.

Motor stepper digunakan sebagai penggerak utama karena mampu menghasilkan gerakan bertahap dalam satuan langkah, sehingga posisi lensa fokus dapat dikendalikan dengan akurat. Driver motor stepper berfungsi mengatur arus dan tegangan yang masuk ke motor agar sesuai dengan sinyal dari sistem kontrol. *Idler pulley* digunakan untuk menjaga ketegangan *timing belt* serta memastikan *belt* tidak mengalami slip. *Teeth pulley* dipasang pada poros motor untuk mentransmisikan daya ke *timing belt*, sedangkan *timing belt* berfungsi menyalurkan gerakan putar menjadi gerakan linier [22]. Pergerakan linier lensa

fokus dibantu oleh *rail linier* yang memberikan jalur gerak yang lurus dan stabil. *Bearing* digunakan untuk mengurangi gesekan antar komponen yang bergerak, sehingga pergerakan lensa fokus tetap halus dan presisi. Seluruh komponen tersebut dipasang menggunakan mounting dan braket agar tersusun dengan kokoh dan mendukung kestabilan sistem secara keseluruhan.

C. Struktur rangka dan meja kerja

Struktur rangka dan meja kerja merupakan bagian fundamental pada mesin CNC *CO₂ laser cutting* yang berfungsi sebagai penopang utama seluruh sistem mekanik dan elektronik. Rangka dirancang sedemikian rupa agar mampu menopang beban komponen-komponen seperti motor, sistem penggerak, sumber laser, serta sistem kontrol secara stabil dan presisi. Struktur rangka dan meja kerja terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu aluminium profil, *bracket corner* siku, kawat expanded, dan profil siku.

Aluminium profil digunakan sebagai kerangka utama karena memiliki sifat ringan, kuat, tahan korosi, serta mudah dalam proses perakitan dan pembentukan struktur modular. *Bracket corner* berfungsi sebagai penghubung sudut antar aluminium profil, menjaga kekakuan sambungan, dan memperkuat kestabilan rangka secara keseluruhan. Kawat expanded digunakan sebagai permukaan meja kerja, karena memiliki struktur berongga yang memungkinkan asap dan sisa pembakaran proses pemotongan dapat keluar dengan lancar, serta mengurangi pantulan balik sinar laser. Sementara itu, profil siku digunakan sebagai penyangga kawat expanded pada meja kerja mesin *CO₂ laser cutting*. Dengan komposisi komponen tersebut, struktur rangka dan meja kerja mampu mendukung performa mesin CNC secara optimal, menjaga akurasi pemotongan, serta meningkatkan keamanan dan efisiensi kerja.

D. Sistem pendingin mesin CNC *CO₂ laser cutting*

Sistem pendingin pada mesin CNC *CO₂ laser cutting* memiliki peran vital dalam menjaga temperatur tabung laser agar energi laser yang dibangkitkan oleh tabung laser tetap stabil selama proses pemotongan berlangsung [23]. Proses pemotongan dengan laser *CO₂* menghasilkan panas yang cukup tinggi, sehingga diperlukan sistem pendingin untuk mencegah terjadinya *overheating* di tabung laser *CO₂* yang dapat merusak tabung laser maupun menurunkan kualitas pemotongan. Sistem pendingin yang digunakan adalah pendingin berbasis air (*water cooling system*) karena mampu menyerap dan menghantarkan panas secara efisien.

Komponen utama sistem pendingin ini terdiri atas pompa air, *reservoir* (tangki air), dan selang sirkulasi. Pompa air berfungsi mengalirkan air secara terus-menerus melalui tabung laser dan kembali ke tangki. Tangki air bertugas menyimpan air pendingin dalam jumlah yang cukup. Dengan adanya sistem pendingin yang bekerja secara efektif, umur pakai tabung laser dapat diperpanjang dan kualitas hasil pemotongan dapat dijaga secara konsisten.

5. Komponen-komponen utama mesin CO_2 laser cutting yang tersedia di pasaran

Pada penelitian ini, digunakan beberapa komponen utama yang didapat di pasaran. Beberapa komponen-komponen utama mesin CO_2 laser cutting tersebut adalah tabung laser CO_2 , *power supply* tabung laser CO_2 , Cloudray E series black CO_2 laser head, motor stepper, dan driver motor stepper TB6600.

A. Tabung laser CO_2

Tabung laser CO_2 merupakan komponen utama dalam sistem pemotongan dan pengukiran benda kerja yang menggunakan gas karbon dioksida (CO_2) sebagai medium aktif untuk menghasilkan sinar laser. Laser CO_2 termasuk dalam kategori *laser gas* dan beroperasi pada panjang gelombang sekitar 10,6 mikrometer (μm), yang berada dalam spektrum inframerah. Sinar laser ini umum digunakan untuk memotong dan mengukir berbagai jenis material non-logam, seperti akrilik, kayu, karet, kulit, kaca, maupun kain.

Tabung laser CO_2 umumnya berbentuk silinder panjang yang terbuat dari kaca borosilikat atau logam, dan berisi campuran gas seperti karbon dioksida (CO_2), nitrogen (N_2), serta helium (He) [24]. Proses kerja tabung laser diawali dengan pemberian arus listrik bertegangan tinggi yang menyebabkan eksitasi molekul nitrogen. Molekul nitrogen yang tereksitasi kemudian mentransfer energinya kepada molekul CO_2 , sehingga molekul CO_2 mengalami transisi ke tingkat energi yang lebih tinggi. Ketika molekul CO_2 kembali ke keadaan dasar, energi tersebut dilepaskan dalam bentuk emisi foton, dan menghasilkan pancaran sinar laser.

Pancaran sinar laser tersebut diperkuat di dalam rongga resonator optik yang terdiri atas dua cermin pemantul yang terletak di kedua ujung tabung. Salah satu cermin bersifat semi-transparan untuk memungkinkan keluarnya sinar laser sebagai keluaran (*output*). Daya keluaran tabung laser CO_2 umumnya berada pada kisaran 40–150Watt, yang sesuai untuk keperluan pemotongan ringan hingga sedang, dengan tegangan operasional mencapai 15–25 KV DC.

Berdasarkan jenisnya, tabung laser CO₂ dapat dibedakan menjadi dua tipe utama, yaitu tipe kaca (*glass tube*) dan tipe logam (*RF metal tube*) [25]. Tabung kaca memiliki harga yang lebih ekonomis, namun umur pakainya relatif terbatas, yaitu berkisar antara 1.000 hingga 3.000 jam. Sementara itu, tabung logam menggunakan sistem eksitasi frekuensi radio (RF), memiliki daya tahan lebih baik, serta umumnya digunakan dalam aplikasi industri berskala besar. Karena tabung laser menghasilkan panas tinggi selama proses operasional, diperlukan sistem pendingin berupa sirkulasi air untuk menjaga kestabilan temperatur kerja dan memperpanjang umur pakai tabung laser. Tabung laser CO₂ dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. laser CO₂ tube [26]

B. Power supply laser CO₂

Power supply laser CO₂ merupakan komponen vital dalam sistem kerja laser CO₂ karena berfungsi sebagai sumber energi listrik yang mengaktifkan proses eksitasi gas di dalam tabung laser. Sistem ini mengubah tegangan listrik dari sumber AC menjadi tegangan tinggi DC yang dibutuhkan untuk mengaktifkan tabung laser [27]. Umumnya, power supply untuk tabung laser CO₂ menghasilkan tegangan output sebesar 15.000–30.000 Volt DC serta arus keluaran antara 20–40 mA. Tegangan tinggi ini dialirkan ke elektroda pada kedua ujung tabung laser CO₂ sehingga menyebabkan terjadinya pelepasan listrik (*discharge*) di dalam tabung, yang kemudian mengionisasi gas CO₂ dan memicu proses emisi laser.

Power supply laser CO₂ biasanya memiliki dua koneksi utama yaitu kabel HV (*high voltage*) untuk elektroda positif tabung laser, dan *ground* atau *return* untuk elektroda negatif. Selain itu, power supply modern juga dilengkapi dengan koneksi kontrol berbasis PWM (*Pulse Width Modulation*), TTL (*Transistor-Transistor Logic*), atau analog voltage (0–5V) untuk mengatur daya laser secara dinamis melalui kontrol mikrokontroler,

komputer, atau CNC controller. Dengan adanya pengaturan daya ini, sistem dapat mengubah intensitas sinar laser secara *real-time* selama proses pemotongan atau pengukiran. Power supply laser CO₂ dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Power supllly laser CO₂ [28]

C. Cloudray E series black CO₂ laser head

Cloudray E Series Black CO₂ Laser Head merupakan paket lengkap kepala laser yang dirancang untuk mesin pemotong dan pengukir berbasis tabung CO₂. Satu set produk ini terdiri atas kepala laser, lensa fokus, serta tiga cermin reflektif yang berfungsi untuk mengarahkan dan memfokuskan sinar laser. Cloudray E series black CO₂ laser Head merupakan salah satu komponen utama dalam sistem pemotongan dan pengukiran menggunakan laser CO₂. Produk ini terdiri dari satu set kepala laser (*laser head*), penyangga cermin pertama dan kedua, lensa fokus pada umumnya berdiameter 20 mm dengan focal length 50,8 mm atau 63,5 mm, serta tiga cermin reflektif dengan material silikon (Si) berdiameter 25 mm. Kepala laser ini berfungsi mengarahkan sinar laser yang dipancarkan oleh tabung CO₂ melalui serangkaian cermin dan difokuskan oleh lensa agar menghasilkan titik fokus yang tajam pada permukaan material. Proses ini memungkinkan pemotongan dan pengukiran berlangsung.

Desain modular pada seri E ini memberikan kemudahan dalam proses perakitan, penggantian, dan pemeliharaan komponen optik. Kepala laser terbuat dari material aluminium anodized berwarna hitam yang tahan terhadap panas dan korosi, sehingga mendukung stabilitas dan keawetan penggunaan jangka panjang. Lensa fokus yang

digunakan tersedia dalam beberapa variasi panjang fokus (*focal length*), yang masing-masing memberikan karakteristik titik fokus yang berbeda. Misalnya, lensa dengan *focal length* 50,8 mm cocok digunakan untuk pemotongan umum dan pengukuran dengan hasil yang tajam, sedangkan lensa dengan *focal length* 63,5 mm atau 101,6 mm lebih sesuai untuk pemotongan material yang lebih tebal. Laser head CO2 dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Cloudray E series black CO2 laser head set [29]

D. Motor stepper

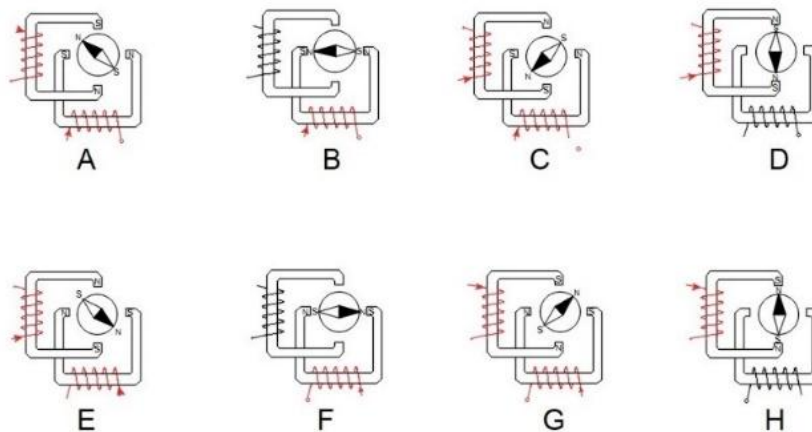
Motor *stepper* adalah jenis motor listrik yang bekerja berdasarkan prinsip pergerakan diskrit (bertingkat) dalam bentuk langkah-langkah tertentu [30], [31]. Tidak seperti motor DC konvensional yang berputar secara kontinu, motor *stepper* berputar dalam sudut tetap per pulsa (*step*), yang membuatnya sangat cocok digunakan dalam aplikasi yang memerlukan kontrol posisi dan kecepatan yang presisi, seperti mesin CNC, printer 3D, robot lengan, dan sistem otomatisasi industri. Setiap pulsa listrik yang diberikan ke motor menyebabkan poros motor berputar sejumlah sudut tertentu, biasanya $1,8^\circ$ per langkah untuk motor dengan 200 langkah per putaran penuh.

Motor *stepper* memiliki struktur internal berbasis elektromagnet yang terdiri dari rotor (berupa magnet permanen atau material ferromagnetik) dan stator dengan sejumlah kumparan. Ketika arus listrik dialirkan secara bergantian ke kumparan stator, medan magnet yang dihasilkan menyebabkan rotor bergerak ke posisi tertentu secara berurutan. Hal ini memungkinkan pengendalian posisi poros motor stepper secara digital menggunakan driver motor, seperti TB6600, yang menerima sinyal pulsa (PUL) dan arah (DIR) dari *mikrokontroler*. Motor *stepper* yang digunakan dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. (a) Motor *stepper* bipolar (b) Skematis konstruksi motor *stepper* bipolar

Skematis pengaturan posisi poros motor *stepper* dapat dilihat pada gambar 8. Pada gambar 8 A, kedua lilitan dialiri arus listrik dengan nilai arus yang sama besar. Lilitan vertikal diberi arus dengan arah aliran dari atas ke bawah, sehingga ujung inti vertikal atas berubah menjadi kutub magnet selatan dan ujung inti vertikal bawah berubah menjadi kutub utara. Lilitan horisontal diberi arus dengan arah aliran dari kiri ke kanan, sehingga ujung inti horisontal kanan berubah menjadi kutub utara magnet dan ujung inti horisontal kiri berubah menjadi kutub selatan magnet. Pada kondisi ini kutub utara magnet poros motor *stepper* akan tertarik ke arah posisi jam 10.30 (arah barat laut).



Gambar 8. Skematis pengaturan posisi poros motor *stepper*

Pada gambar 8 B, lilitan vertikal tidak dialiri arus tetapi lilitan horisontal dialiri arus dengan arah yang sama dengan arah arus pada kondisi 8 A. Karena lilitan vertikal tidak dialiri arus, ujung-ujung inti vertikal tidak berubah menjadi kutub-kutub magnet. Pada kondisi ini kutub utara magnet poros motor *stepper* akan tertarik ke arah posisi jam 09.00 (arah barat).

Pada gambar 8 C, lilitan vertikal kembali dialiri arus tetapi arah arus berasal dari bawah ke atas sehingga ujung inti vertikal atas berubah menjadi kutub magnet utara dan ujung inti vertikal bawah berubah menjadi kutub magnet selatan. Lilitan horisontal masih dialiri arus dengan kondisi aliran yang sama dengan kondisi sebelumnya sehingga tidak mengubah kondisi ujung-ujung inti horisontal. Pada kondisi ini kutub utara magnet poros motor stepper akan tertarik ke arah posisi jam 07.30 (arah barat daya).

Pada gambar 8 D, lilitan horisontal tidak dialiri arus, sehingga ujung-ujung inti horisontal tidak berubah menjadi magnet. Lilitan vertikal masih dialiri arus dengan kondisi aliran yang sama dengan kondisi sebelumnya sehingga tidak mengubah kondisi ujung-ujung inti vertikal. Pada kondisi ini kutub utara magnet poros motor *stepper* akan tertarik ke arah posisi jam 06.00 (arah selatan).

Pada gambar 8 E, lilitan horisontal kembali diberi arus tetapi arah arus berasal dari kanan ke kiri, sehingga ujung inti horisontal kiri berubah menjadi kutub utara magnet dan ujung inti horisontal kanan berubah menjadi kutub selatan magnet. Lilitan vertikal masih dialiri arus dengan kondisi aliran yang sama dengan kondisi sebelumnya sehingga tidak mengubah kondisi ujung-ujung inti vertikal. Pada kondisi ini kutub utara magnet poros motor stepper akan tertarik ke arah posisi jam 04.30 (arah tenggara).

Pada gambar 8 F, lilitan vertikal tidak dialiri arus, sehingga ujung-ujung inti vertikal tidak berubah menjadi magnet. Lilitan horisontal masih dialiri arus dengan kondisi aliran yang sama dengan kondisi sebelumnya sehingga tidak mengubah kondisi ujung-ujung inti horisontal. Pada kondisi ini kutub utara magnet poros motor *stepper* akan tertarik ke arah posisi jam 03.00 (arah timur).

Pada gambar 8 G, lilitan vertikal kembali diberi arus tetapi arah arus berasal dari atas ke bawah, sehingga ujung inti vertikal atas berubah menjadi kutub selatan magnet dan ujung inti vertikal bawah berubah menjadi kutub utara magnet. Lilitan horisontal masih dialiri arus dengan kondisi aliran yang sama dengan kondisi sebelumnya sehingga tidak mengubah kondisi ujung-ujung inti horisontal. Pada kondisi ini kutub utara magnet poros motor stepper akan tertarik ke arah posisi jam 01.30 (arah timur laut).

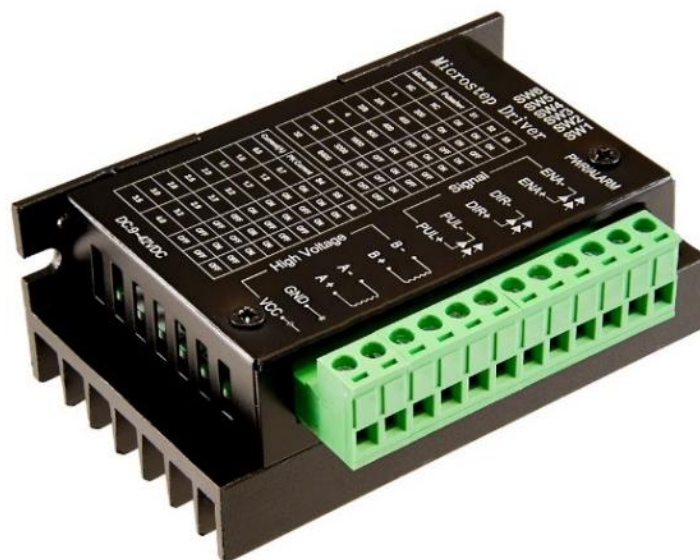
Pada gambar 8 H, lilitan horisontal tidak dialiri arus, sehingga ujung-ujung inti horisontal tidak berubah menjadi magnet. Lilitan vertikal masih dialiri arus dengan kondisi aliran yang sama dengan kondisi sebelumnya sehingga tidak mengubah kondisi ujung-ujung inti vertikal. Pada kondisi ini kutub utara magnet poros motor *stepper* akan tertarik ke arah posisi jam 12.00 (arah utara).

Dengan cara mengatur pemberian arus pada kedua lilitan secara teratur dan berurutan, poros motor *stepper* akan bergerak dengan pola yang tertentu dan setiap perubahan kondisi arus pada kedua kumparan akan mengakibatkan perubahan posisi poros motor *stepper* sebesar putaran tertentu. Bila pengaturan pemberian arus pada kedua lilitan dilakukan secara manual, maka akan sangat merepotkan. Untuk mengatasi kesulitan tersebut dibuat suatu perangkat untuk mengatur pemberian arus pada kedua lilitan tersebut yang disebut dengan *driver motor stepper*.

E. Driver motor *stepper* TB6600

Driver motor *stepper* TB6600 adalah modul pengendali motor *stepper* berbasis IC Toshiba TB6600HG yang dirancang untuk menggerakkan motor *stepper* tipe bipolar, seperti NEMA 17, NEMA 23, atau NEMA 34, dengan torsi menengah hingga tinggi. Driver ini sangat populer dalam sistem kendali berbasis *mikrokontroler* (seperti Arduino, ESP32, atau STM32), khususnya pada aplikasi seperti mesin CNC, printer 3D, robotik, dan lengan mekanik otomatis karena kombinasi antara kemudahan penggunaan, kestabilan, dan kemampuan arus tinggi.

Driver ini bekerja dengan prinsip kontrol sinyal pulsa (*pulse/direction*). Sinyal *pulse* (PUL+) menentukan langkah (*step*), sedangkan sinyal *direction* (DIR+) mengatur arah putaran motor. Driver motor *stepper* TB6600 mampu mengatur arus motor *stepper* hingga 4.0 Ampere, dengan tegangan kerja antara 9V hingga 42V DC, menjadikannya sesuai untuk berbagai jenis motor dengan kebutuhan daya menengah. Driver motor *stepper* TB6600 dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Driver motor *stepper* TB6600 9-24 v 4A [32]

6. Material baku yang terdapat di pasaran

Pada penelitian ini, beberapa material baku yang digunakan untuk membuat mesin laser *cutting* CO₂ adalah aluminium profil, baja profil siku, akrilik, dan filamen PLA (*Polylactic Acid*). Material tersebut dipilih berdasarkan karakteristik mekanik, kemudahan dalam proses perakitan, serta ketersediaannya di pasaran lokal maupun *daring*.

A. Aluminium Profil

Aluminium profil merupakan material konstruksi berbentuk batang dengan penampang tertentu (umumnya berbentuk V-slot atau T-slot) yang terbuat dari paduan aluminium. Material ini banyak digunakan dalam sistem otomasi, rangka mesin CNC, serta berbagai aplikasi struktural lainnya karena memiliki karakteristik ringan, kuat, tahan terhadap korosi, dan mudah dalam proses perakitan.

Aluminium profil tersedia dalam berbagai ukuran dan panjang, serta dapat dengan mudah dipotong dan dirakit menggunakan aksesori standar seperti braket, sekrup, dan mur T. Penggunaan aluminium profil sangat sesuai untuk konstruksi rangka karena mampu menghasilkan struktur yang kaku dan presisi tanpa memerlukan proses pengelasan. Materil aluminium profil dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Aluminium profil [33]

B. Baja Profil Siku

Baja profil siku, atau sering disebut juga angle bar, merupakan salah satu jenis material logam berbentuk L yang umumnya terbuat dari baja karbon. Material ini digunakan luas dalam bidang konstruksi dan manufaktur sebagai penopang struktur, rangka mesin, atau komponen penyangga lainnya.

Ciri khas baja profil siku adalah kekuatannya yang tinggi terhadap beban tekan dan tarik. Selain itu, material ini memiliki ketahanan mekanik yang baik, umur pakai yang panjang, serta harga yang relatif ekonomis. Ketersediaannya yang luas di pasaran dan kemudahan dalam pengelasan serta pemotongan menjadikannya salah satu pilihan utama dalam konstruksi struktural. Materil baja profil siku dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. profil baja siku [34]

C. Akrilik

Akrilik, atau dikenal pula dengan nama PMMA (*Polymethyl Methacrylate*), merupakan salah satu jenis plastik transparan yang banyak digunakan sebagai pengganti kaca. Akrilik memiliki transparansi tinggi, tahan terhadap sinar ultraviolet, serta mudah dibentuk dan diproses dengan alat pemotong ataupun pemanas.

Kelebihan utama akrilik adalah bobotnya yang ringan namun tetap kuat, serta permukaannya yang halus. Material ini sering digunakan dalam pembuatan display produk, panel pelindung, pencahayaan, dan desain interior. Di pasaran, akrilik tersedia dalam berbagai warna, ketebalan, dan ukuran lembaran, serta dapat dengan mudah ditemukan di toko bangunan atau penyedia material industri. Material akrilik dapat dilihat pada gambar 12.

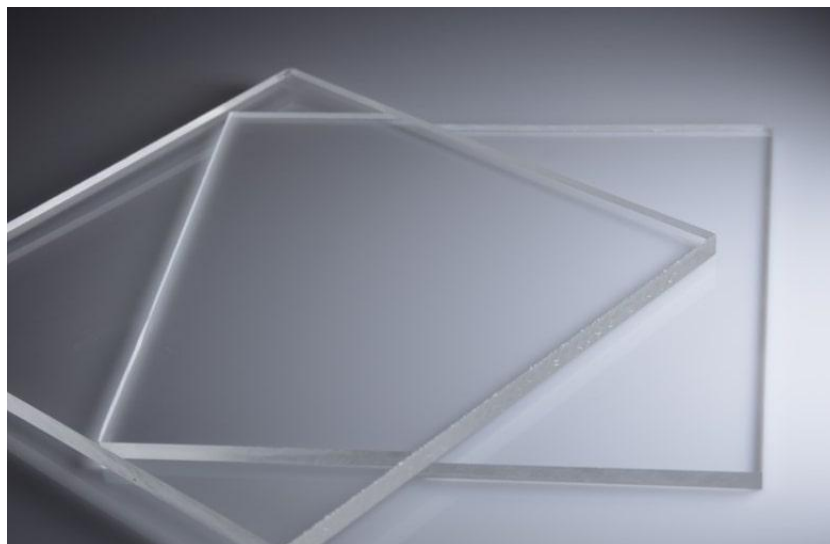
D. PLA (*Polylactic Acid*)

PLA (*Polylactic Acid*) merupakan jenis filamen termoplastik yang digunakan dalam proses pencetakan tiga dimensi (*3D printing*) dengan teknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM). PLA berasal dari material dasar alami seperti pati jagung atau tebu, sehingga

tergolong sebagai material yang ramah lingkungan dan dapat terurai secara hayati (*biodegradable*).

PLA memiliki karakteristik yang mudah dicetak, akurat secara dimensi, dan memberikan hasil akhir permukaan yang halus. Namun demikian, PLA memiliki kelemahan dalam hal kekuatan mekanik dan ketahanan terhadap temperatur tinggi. Material ini sangat sesuai untuk pembuatan komponen nonstruktural seperti penyangga, pelindung, penutup komponen elektronik, serta prototipe desain awal.

Filamen PLA tersedia secara luas di pasaran dalam berbagai diameter, umumnya 1,75 mm, serta hadir dalam berbagai pilihan warna, sehingga memberikan fleksibilitas dalam perancangan dan pembuatan komponen. Materil PLA dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 12. Akrilik [35]

7. Software untuk pemodelan atau perancangan

Software untuk pemodelan atau perancangan yang digunakan adalah solidWork. SolidWork adalah perangkat lunak berbasis CAD (*Computer-Aided Design*) yang digunakan untuk membuat desain model 2D dan 3D secara parametrik. SolidWork dikembangkan oleh Dassault Systèmes. SolidWork merupakan salah satu *software* yang paling banyak digunakan di bidang teknik mesin, otomotif, manufaktur, dan rekayasa produk karena kemampuannya dalam mendesain komponen mekanis secara akurat, efisien, dan realistis.

SolidWork memungkinkan pengguna untuk merancang komponen tunggal (*part*), rangkaian komponen (*assembly*), serta membuat gambar kerja teknik (*drawing*) dengan

detail lengkap seperti dimensi, toleransi, maupun notasi teknik lainnya. *Software* ini juga mendukung simulasi fisik seperti analisis tegangan (*stress*), perpindahan panas (*thermal*), getaran (*vibration*), hingga simulasi aliran fluida (*Computational Fluid Dynamics/CFD*) melalui modul tambahan seperti *SolidWork Simulation and Flow Simulation*.

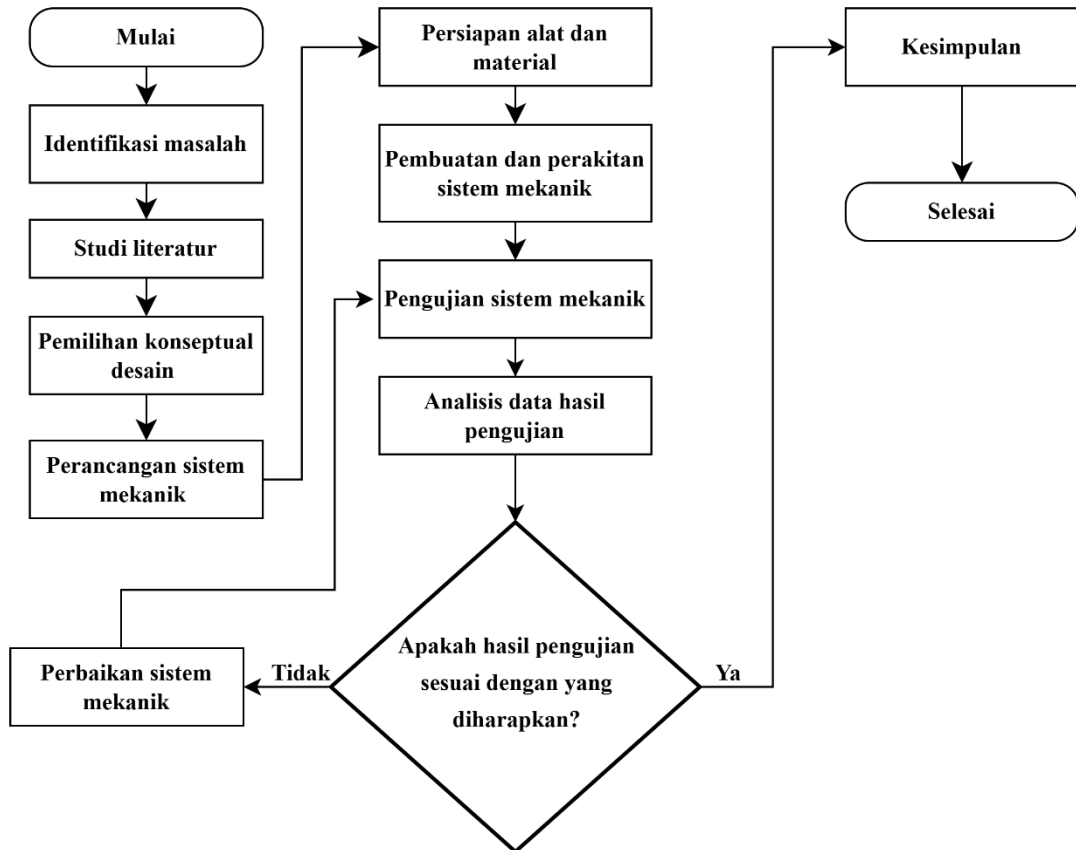


Gambar 13. Filamen PLA [36]

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

1. Tahapan penelitian

Proses perancangan dan pembuatan mesin CNC *CO₂ laser cutting* dijelaskan dalam bentuk diagram alir. Diagram alir tersebut dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. Alur diagram penelitian

Identifikasi masalah adalah proses untuk mengenali, menguraikan, dan merumuskan permasalahan yang muncul dengan tujuan untuk menemukan solusi yang tepat. Proses ini merupakan langkah awal yang sangat penting dalam kegiatan penelitian, penyusunan program, pengambilan keputusan, maupun penyelesaian suatu persoalan.

Studi literatur adalah proses untuk menelaah secara sistematis terhadap masalah yang dikaji. Literatur dapat berbentuk teori yang telah teruji, hasil penelitian milik pribadi atau orang lain, karya ilmiah, survei lapangan, studi kepustakaan dan termasuk situs dari internet.

Konseptual desain adalah landasan utama dalam proses perancangan. Konseptual desain berperan sebagai gagasan utama yang mengarahkan seluruh proses pengambilan keputusan desain agar tetap konsisten, bermakna, dan memiliki identitas yang jelas serta terarah.

Perancangan sistem mekanik adalah proses untuk merancang dan mengembangkan suatu sistem mekanik yang berfungsi untuk memenuhi kebutuhan tertentu. Perancangan ini melibatkan identifikasi masalah, analisis kebutuhan, pemilihan komponen, serta evaluasi performa agar sistem yang dihasilkan efektif, efisien, dan dapat diandalkan

Persiapan alat dan material adalah proses untuk melakukan pemilihan alat dan material yang sesuai, pemeriksaan kondisi fisik alat, kalibrasi peralatan ukur, serta pengecekan kelengkapan dan ketersediaan material sesuai spesifikasi teknis. Dalam mempersiapkan alat dan material, penting untuk memastikan bahwa semua alat dan material yang digunakan memenuhi standar keselamatan kerja dan kualitas yang dibutuhkan dalam proses perancangan sistem mekanik.

Pembuatan dan perakitan sistem mekanik adalah proses untuk membuat, memasang dan menggabungkan komponen-komponen mekanik secara tepat dan akurat, sesuai dengan desain sistem yang telah dirancang sebelumnya. Proses ini memerlukan ketelitian tinggi agar setiap komponen berfungsi sebagaimana mestinya dalam keseluruhan sistem.

Pengujian sistem mekanik adalah proses untuk memeriksa apakah sistem mekanik bekerja sesuai spesifikasi yang diinginkan. Beberapa langkah umum dalam pengujian sistem mekanik, meliputi pemeriksaan visual, uji fungsional, pengujian statis, pengujian dinamis, pengujian performa, dan pengujian akhir.

Setelah dilakukan pengujian sistem mekanik, langkah berikutnya adalah proses untuk menganalisis data hasil pengujian. Beberapa langkah umum dalam melakukan analisis data hasil pengujian sistem mekanik, yaitu meninjau kembali tinjauan pengujian, mengavaluasi hasil pengujian, identifikasi masalah atau kesalahan, dan melakukan perbaikan atau perubahan.

Analisis data hasil pengujian adalah proses untuk menganalisis dan menginterpretasikan data yang diperoleh dari pengujian atau eksperimen, dengan tujuan untuk menarik kesimpulan atau membuat keputusan berdasarkan informasi yang tersedia. Proses ini membantu menentukan apakah sistem telah bekerja sesuai

spesifikasi, serta mengidentifikasi potensi penyimpangan atau masalah yang perlu diperbaiki.

Kesimpulan adalah proses untuk menyimpulkan hasil pengujian yang telah diperoleh melalui tahapan pengamatan, pengumpulan data, serta analisis terhadap hasil pengujian yang telah dilakukan. Berdasarkan kesimpulan tersebut, dapat diketahui sejauh mana sistem atau objek yang diuji memenuhi tujuan atau spesifikasi yang telah ditetapkan.

2. Tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan jalan Dr. Setiabudi No. 193, Gegerkalog, Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40153. Laboratorium Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasundan Bandung

3. Desain sistem mekanik mesin CNC CO_2 laser cutting

Perancangan dan pembuatan sistem mekanik pada mesin CO_2 laser cutting dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahapan tersebut mencakup penyusunan konseptual desain, desain awal *concept* perancangan, pemilihan komponen-komponen sistem mekanik mesin CO_2 laser cutting, serta proses perakitan komponen-komponen tersebut secara terstruktur.

A. Koseptual desain

Tahap konseptual desain merupakan langkah penting dalam pengembangan produk, karena pada tahap ini berbagai alternatif desain dievaluasi secara sistematis untuk menentukan rancangan yang paling sesuai dengan kebutuhan pengguna. Proses ini

meliputi lima tahapan utama. Pertama, *concept screening*, yaitu penyaringan awal untuk menilai kelebihan dan kelemahan dari beberapa alternatif desain. Kedua, *concept scoring*, yaitu penilaian kuantitatif berbobot untuk memperoleh gambaran numerik mengenai performa masing-masing *concept*. Ketiga, *product architecture*, yaitu pemetaan fungsi mesin ke dalam bentuk modul fisik yang akan menyusun keseluruhan sistem. Keempat, industrial design, yang berfokus pada aspek estetika, ergonomi, interaksi pengguna, dan keselamatan kerja. Terakhir, kelima, *Quality Function Deployment (QFD)* atau *House of Quality*, yang digunakan untuk memastikan bahwa kebutuhan pengguna benar-benar diterjemahkan ke dalam spesifikasi teknis mesin.

➤ *Concept Screening*

Tahap *concept screening* dilakukan sebagai langkah awal dalam pemilihan konsep desain. Pada tahap ini, beberapa alternatif rancangan dibandingkan secara kualitatif untuk menilai kelebihan dan kelemahannya. Mesin *CO₂ laser cutting* 60W yang dirancang memiliki frame aluminium 2040, sistem penggerak linear guide, kontrol menggunakan Arduino, meja kerja dari baja siku dengan kawat expanded berukuran 50 × 80 cm, serta beberapa komponen hasil 3D printing. Rancangan tersebut kemudian dipertimbangkan bersama alternatif konsep lain guna memperoleh gambaran awal desain yang paling sesuai.

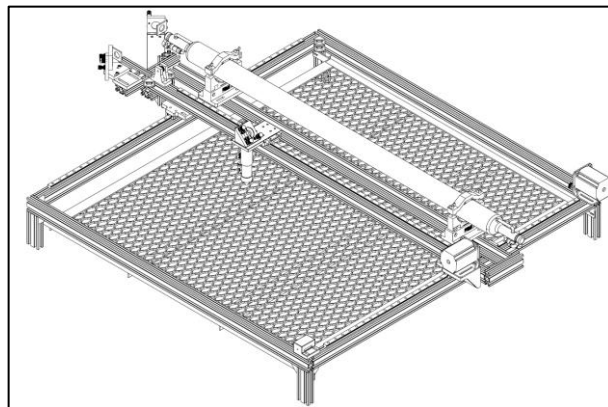
Alternatif Konsep:

Pada tahap awal ini, beberapa alternatif konsep desain dibandingkan untuk mengetahui kelebihan dan kekurangannya secara kualitatif. Konsep yang dibandingkan adalah:

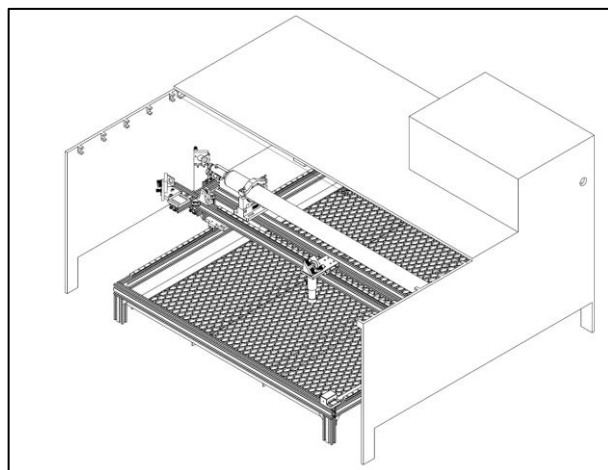
- **Concept A (konsep yang dirancang)** → *Flatbed*, 60W CO₂, kontrol Arduino, frame aluminium 2040, linear guide, meja baja siku + expanded metal, area kerja 50 × 80 cm, beberapa part 3D print. *Concept A* dapat dilihat pada gambar 16.
- **Concept B** → *semi-enclosed*, 60W CO₂, DSP control, frame full metal, meja honeycomb stainless steel. Sketsa *Concept B* dapat dilihat pada gambar 17.
- **Concept C** → *Enclosed*, 80W CO₂, DSP, frame baja, meja *honeycomb*, area kerja >80 × 120 cm. *Concept C* dapat dilihat pada gambar 18
- **Reference concept**

Konsep referensi, yaitu model dasar sistem pemotongan material yang dijadikan acuan dalam proses pengembangan desain selanjutnya. Struktur ini menggunakan rangka aluminium profil sebagai komponen utama untuk membentuk kerangka yang kokoh dan ringan. Desain tersebut dilengkapi dengan mekanisme pergerakan linear yang memungkinkan kepala pemotong bergerak secara presisi di atas bidang kerja berukuran 50×80 cm.

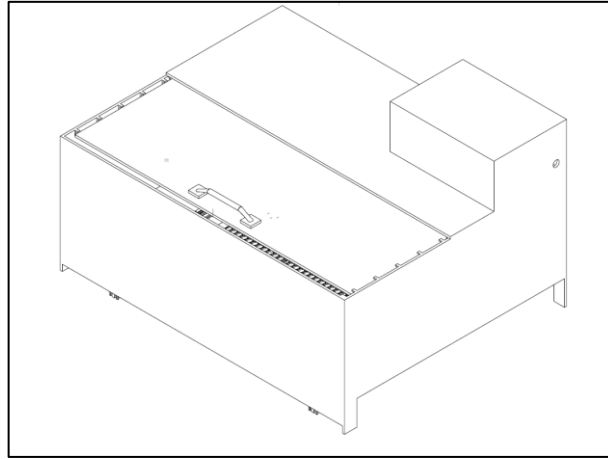
Konsep referensi ini berfungsi sebagai pembanding teknis dan fungsional terhadap konsep rancangan baru yang dikembangkan, terutama dalam hal stabilitas struktur, efisiensi pergerakan, dan kemudahan perawatan. Dengan adanya acuan ini, evaluasi perbaikan pada konsep baru dapat dilakukan secara objektif untuk mencapai desain yang lebih efisien, ergonomis, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna. *Concept* referensi dalam perancangan ini dapat dilihat pada gambar19.



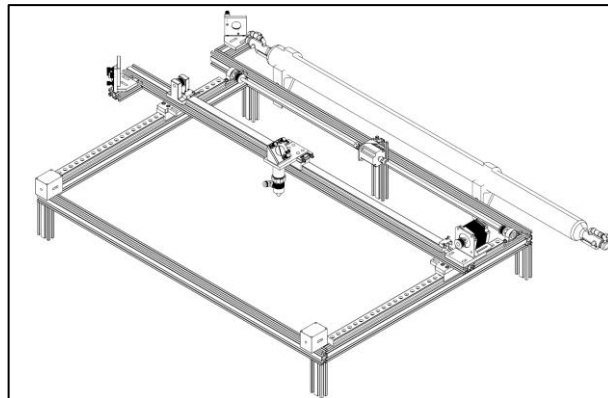
Gambar 16. Sketsa *concept A*



Gambar 17. Sketsa *concept B*



Gambar 18. Sketsa *concept C*



Gambar 19. sketsa referensi

Untuk membandingkan alternatif konsep yang telah disusun, yaitu *concept A*, *concept B*, *concept C*, dan *concept* Referensi, dilakukan analisis menggunakan metode *Concept screening*. Analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. *concept screening*

Kriteria	<i>Concept A</i>	<i>Concept B</i>	<i>Concept C</i>	<i>Reference</i>
Dimensi 50 x80 cm	+	+	+	0
Pemotonga material akrilik 1-5mm	+	+	+	0
Pemotongan material lain	+	+	+	0
Kemudahan mobilitas	+	0	-	0
Bahan baku mudah ditempatkan	+	0	-	0
Hasil pemotongan dapat langsung digunaka	0	0	0	0
Suku cadang tersedia dipasaran	0	0	0	0
Jumlah +	5	3	3	0
Jumlah 0	2	3	2	7

Kriteria	Concept A	Concept B	Concept C	Reference
Jumlah -	0	0	2	0
Net score	+5	+3	+1	0
rank	1	2	3	2
Continue?	Dilanjutkan	Layak dikembangkan	Revisi	Referensi

Berdasarkan hasil analisis perbandingan terhadap tiga konsep desain, yaitu *concept A*, *concept B*, dan *concept C*, diperoleh gambaran umum mengenai tingkat kelayakan masing-masing *concept* dalam memenuhi kriteria teknis dan fungsional yang telah ditetapkan. Secara keseluruhan, penilaian dilakukan dengan menggunakan tiga kategori, yaitu tanda positif (+) untuk kriteria yang terpenuhi, tanda nol (0) untuk kriteria yang hanya terpenuhi sebagian atau bersifat netral, serta tanda negatif (-) untuk kriteria yang tidak terpenuhi.

Hasil penilaian menunjukkan bahwa *concept A* memperoleh nilai terbaik dengan total lima tanda positif (+5), dua tanda netral (0), dan tanpa tanda negatif. Hal ini mengindikasikan bahwa *concept A* secara umum telah memenuhi sebagian besar kriteria yang ditetapkan, seperti kesesuaian dimensi 50 x 80 cm, kemampuan pemotongan material akrilik 1–5 mm, serta kemudahan pemotongan material lain. Selain itu, *concept A* dinilai unggul dalam aspek kemudahan pemindahan dan kemudahan penempatan bahan baku. Oleh karena itu, *concept p A* dinyatakan layak untuk dilanjutkan ke tahap pengembangan berikutnya.

Sementara itu, *concept B* memperoleh nilai bersih +3 dengan tiga tanda positif, tiga tanda netral, dan tanpa tanda negatif. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun *concept B* memiliki beberapa keunggulan dalam hal kesesuaian dimensi dan kemampuan pemotongan, terdapat beberapa aspek yang masih perlu diperbaiki, terutama pada kemudahan pemindahan dan penempatan bahan baku. Berdasarkan hasil tersebut, *concept B* dinilai layak dikembangkan dengan beberapa penyempurnaan agar dapat mencapai standar optimal.

Adapun *concept C* memperoleh nilai bersih paling rendah, yaitu +1, dengan tiga tanda positif, dua tanda netral, dan dua tanda negatif. Nilai negatif diperoleh pada kriteria kemudahan pemindahan serta kemudahan penempatan bahan baku, yang menunjukkan adanya kekurangan signifikan dalam aspek ergonomi dan efisiensi penggunaan. Meskipun beberapa kriteria dasar seperti ukuran dan kemampuan pemotongan terpenuhi, kelemahan tersebut menyebabkan *concept C* dinilai perlu direvisi sebelum dapat dipertimbangkan untuk tahap pengembangan selanjutnya.

Dari hasil keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa *concept* A merupakan pilihan terbaik untuk dilanjutkan, *concept* B masih memiliki potensi pengembangan dengan beberapa perbaikan, sedangkan *concept* C memerlukan revisi mendasar agar dapat memenuhi kriteria yang diharapkan.

➤ *Concept Scoring*

Tahap berikutnya adalah penilaian lebih terukur melalui *concept scoring*. Pada tahap ini, setiap kriteria diberikan bobot berdasarkan tingkat kepentingannya terhadap keberhasilan produk. Nilai skor diberikan untuk masing-masing alternatif *concept*, kemudian dikalikan dengan bobot sehingga menghasilkan skor total. Hasil ini menunjukkan perbandingan kuantitatif antar *concept*, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan prioritas pengembangan desain lebih lanjut. *Concept* ini dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. *concept scoring*

Kriteria	Bobot	<i>Concept</i> A	Skor A	<i>Concept</i> B	Skor B	<i>Concept</i> C	Skor C	Reference <i>concept</i>	Skor referensi
Dimensi 50 x80 cm	16%	3	0.48	3	0.48	3	0.48	2	0.32
Pemotonga material akrilik 1-5mm	16%	3	0.48	3	0.48	3	0.48	2	0.32
Pemotongan material lain	12%	3	0.36	3	0.36	3	0.36	2	0.24
Kemudahan mobilitas	12%	3	0.36	2	0.24	1	0.12	2	0.24
Bahan baku mudah ditempatkan	15%	3	0.46	2	0.31	1	0.15	2	0.31
Hasil pemotongan dapat langsung digunaka	14%	2	0.28	2	0.28	2	0.28	2	0.28
Suku cadang tersedia dipasaran	15%	2	0.30	2	0.30	2	0.30	2	0.30
Skor nominasi			2.71		2.44		2.16		2.00
peringkat konsep			1		2		3		4
continue?			Yes		No		No		No

Tabel di atas menunjukkan hasil analisis pemilihan konsep desain dengan menggunakan pendekatan *Concept Scoring*. Metode ini digunakan untuk menilai dan membandingkan beberapa alternatif *concept* berdasarkan sejumlah kriteria dengan bobot tertentu. Penilaian dilakukan menggunakan skala 1–3, dengan ketentuan nilai 3 menunjukkan kinerja sangat baik, nilai 2 menunjukkan kinerja cukup baik, dan nilai 1 menunjukkan kinerja kurang baik.

Nilai akhir diperoleh dengan mengalikan skor dengan bobot masing-masing kriteria, kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan skor nominasi total. Konsep

dengan nilai total tertinggi dianggap paling memenuhi kebutuhan desain dan dinyatakan layak untuk dilanjutkan.

Berdasarkan hasil analisis pemilihan konsep desain dengan menggunakan metode Concept Scoring diperoleh hasil evaluasi terhadap empat alternatif, yaitu *concept A*, *concept B*, *concept C*, dan *concept Referensi*. Penilaian dilakukan berdasarkan tujuh kriteria utama yang meliputi kesesuaian dimensi 50 × 80 cm, kemampuan pemotongan material akrilik 1–5 mm, kemampuan pemotongan material lain, kemudahan mobilitas, kemudahan penempatan bahan baku, hasil pemotongan yang dapat langsung digunakan, serta ketersediaan suku cadang di pasaran. Setiap kriteria memiliki bobot tertentu sesuai tingkat kepentingannya, dengan rentang bobot antara 12% hingga 16%.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa *concept A* memperoleh nilai total tertinggi yaitu 2,71, diikuti oleh Konsep B dengan nilai 2,44, *concept p C* dengan nilai 2,16, dan *concept Referensi* dengan nilai 2,00. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa *concept A* merupakan konsep paling unggul karena mampu memenuhi hampir seluruh kriteria penilaian dengan nilai tertinggi pada aspek dimensi, kemampuan pemotongan, serta kemudahan mobilitas dan penempatan bahan baku. Dengan demikian, *concept A* dinyatakan layak untuk dilanjutkan (*continue*) ke tahap pengembangan desain berikutnya.

➤ *Product Architecture*

Arsitektur produk menggambarkan bagaimana fungsi-fungsi utama mesin laser cutting diterjemahkan ke dalam bentuk modul fisik. Penyusunan arsitektur ini penting agar setiap kebutuhan fungsional dapat dipetakan secara jelas terhadap subsistem yang bertanggung jawab. Dalam desain aktual, tabung laser CO₂ berfungsi sebagai sumber energi pemotongan, sistem *rail linear* dan motor *stepper* mengatur pergerakan sumbu X-Y, sementara meja kerja dari baja siku dengan kawat expanded menyediakan bidang pemotongan berukuran 50 × 80 cm. Beberapa komponen tambahan, seperti dudukan motor dan cover kecil, dibuat melalui 3D *printing* untuk menghemat biaya sekaligus meningkatkan fleksibilitas perawatan. Hasil *Product Architecture* dapat dilihat pada table 3.

Tabel 3. Produk arsitektur

Fungsi Utama	Modul / Komponen
Sumber laser	Tabung CO ₂ 60W + power supply HV
Transmisi sinar	3 cermin <i>reflektor</i> + lensa fokus

Fungsi Utama	Modul / Komponen
Pendinginan	<i>Water pump, cooling tank</i> , selang sirkulasi
Pergerakan X-Y	Linear guide rail + belt GT2, pulley, stepper motor NEMA 23
Sistem kontrol	Arduino (GRBL <i>firmware</i>) + driver TB6600/A4988, <i>software</i> LaserGRBL/LightBurn
Rangka utama	Aluminium <i>extrusion</i> 2040 modular
Meja kerja	Baja siku + kawat expanded metal (50 × 80 cm)
Bracket & konektor	3D <i>printing</i> untuk dudukan motor, holder kabel, cover kecil
Proteksi & keamanan	<i>Emergency stop button, open frame</i> (belum ada <i>enclosure</i>)
Exhaust / ventilasi	Opsional: kipas hisap + duct

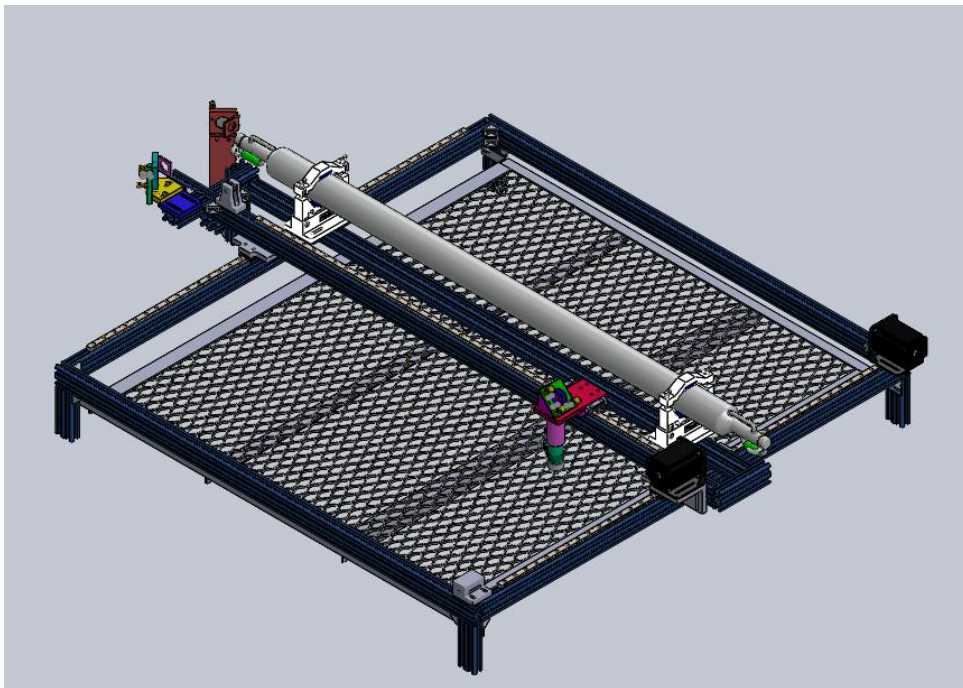
Hasil analisis *product architecture* menunjukkan bahwa rancangan modular dengan penggunaan frame aluminium *extrusion* 2040 memberikan keuntungan dari sisi kekuatan dan kemudahan perakitan. *Linear guide* yang digunakan pada sistem penggerak meningkatkan akurasi gerakan, sedangkan penggunaan Arduino GRBL sebagai sistem kontrol membuat mesin lebih ekonomis dan fleksibel. Meja kerja berbahan baja siku dengan kawat expanded menjadi solusi yang murah dan mudah diproduksi, meskipun belum sekuat meja *honeycomb stainless steel*. Dengan demikian, arsitektur produk ini menekankan modularitas, kemudahan pemeliharaan, serta keseimbangan antara biaya dan kinerja. Modul sumber laser dan cermin pantul pada rancangan ini ikut bergerak searah sumbu Y. Hal ini menyederhanakan sistem optik, mengurangi kebutuhan kalibrasi, serta menurunkan beban pemeliharaan pada bagian optik.

B. Membuat desain awal perancangan

Penyusunan desain awal mesin *CO₂ laser cutting* bertujuan untuk memperoleh gambaran yang jelas dan mendalam mengenai bentuk fisik, konstruksi, serta sistem kerja mesin yang akan dibuat. Dengan demikian, setiap komponen dapat direncanakan secara tepat sesuai dengan kebutuhan fungsional, kinerja optimal, dan kestabilan struktur secara menyeluruh. Desain awal konstruksi mesin *CO₂ laser cutting* dapat dilihat pada gambar 20.

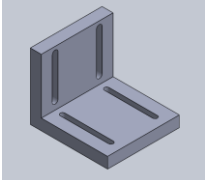
C. Memilih komponen-komponen sistem mekanik mesin *CO₂ laser cutting*

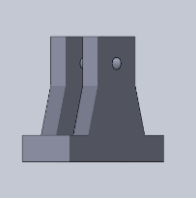
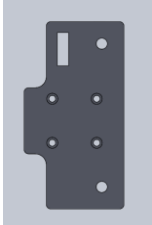
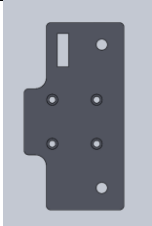
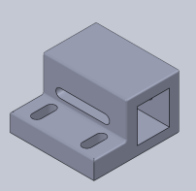
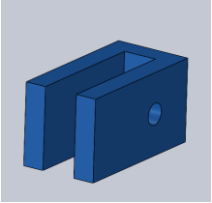
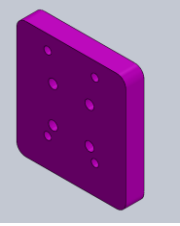
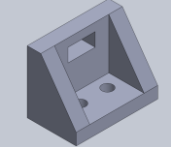
Pemilihan komponen-komponen sistem mekanik mesin *CO₂ laser cutting* bertujuan agar konstruksi yang dirancang dan dibuat memiliki struktur yang kokoh dan rigid. Untuk mencapai hal tersebut, diperlukan sejumlah komponen yang sebagian dirancang dan diproduksi secara khusus, sementara komponen lainnya diperoleh langsung dari pasaran. Komponen yang dirancang dan diproduksi secara khusus menggunakan mesin cetak 3D dan akrilik antara lain *mounting laser head*, *mounting sumbu X*, *mounting pulley sumbu X dan Y*, dan *mounting motor stepper sumbu X*. Komponen yang diperoleh dari pasaran meliputi aluminium profil, *rail linear*, *bearing linear*, motor stepper, *timing pulley*, *timing belt*, *endstop*, serta *head laser cutting CO₂*. Beberapa komponen yang dibuat dan diproduksi menggunakan mesin 3D *printin* dapat dilihat pada tabel 4 dan beberapa komponen yang diperoleh di pasaran dapat dilihat pada tabel 5.







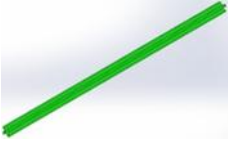
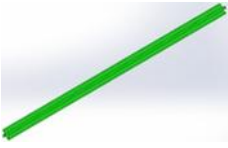

Gambar 20. Konsep mesin *CO₂ laser cutting*



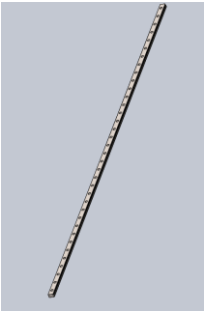
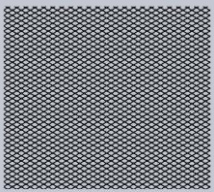
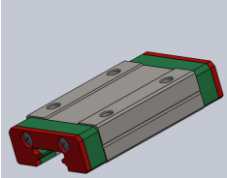
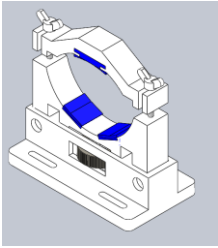
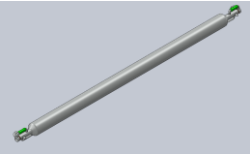
Tabel 4. Komponen mesin *CO₂ laser cutting* yang dibuat menggunakan 3D *printing*

No	Nama komponen	Gambar komponen	Spesifikasi	Jumlah
1.	<i>Mounting motor stepper sumbu X</i>		Dimensi: 70mm x 60mm x 65mm	1

No	Nama komponen	Gambar komponen	Spesifikasi	Jumlah
2.	<i>Mounting Idler Pulley Sumbu X</i>		Dimensi: 45mm x 45mm x 25mm	1
3.	<i>Monting bearing sumbu X</i>		Dimensi: 100mm x 50mm x 10mm	1
4.	<i>Monting bearing sumbu X</i>		Dimensi: 100mm x 50mm x 10mm	1
5.	<i>Mounting Idler Pulley Sumbu Y</i>		Dimensi 50mm x 25mm x 47mm	1
6.	<i>Mounting Idler Pulley Sumbu Y</i>		Dimensi: 35mm x 18mm x 19mm	1
7.	<i>Mounting laser head</i>		Dimensi: 60mm x 65mm x 10mm	1
8.	<i>Mounting timing belt Sumbu Y</i>		Dimensi: 18mm x 20mm x 23mm	1

Tabel 5. Komponen mesin laser CO₂ yang didapat dipasaran

No	Nama komponen	Gambar komponen	Spesifikasi	Jumlah
1.	Aluminium profil		Material: Aluminium Dimensi: 20mm x 40mm x 1000 mm Tipe: Aluminium profil 2040	4
2.	Aluminium profil		Material: Aluminium Dimensi: 20mm x 40mm x 100 mm Tipe: Aluminium profil 2040	4
3.	<i>Braket corner 2020</i>		Material: Aluminium Dimensi: 17mm x 20mm x 20mm	24
4.	<i>Braket motor stepper nema 23</i>		Material: stainless steel Dimensi: 50mm x 50mm x 45mm	2
5.	Aluminium profil		Material: Aluminium Dimensi: 20mm x 40mm x 1300 mm Tipe: Aluminium profil 2040	1
6.	Aluminium profil		Material: Aluminium Dimensi: 20mm x 40mm x 1300 mm Tipe: Aluminium profil 2040	1
7.	<i>Idler pulley</i>		Material: Aluminium Dimensi: 5mm x 18mm x 13mm Tipe: GT2 16T	3

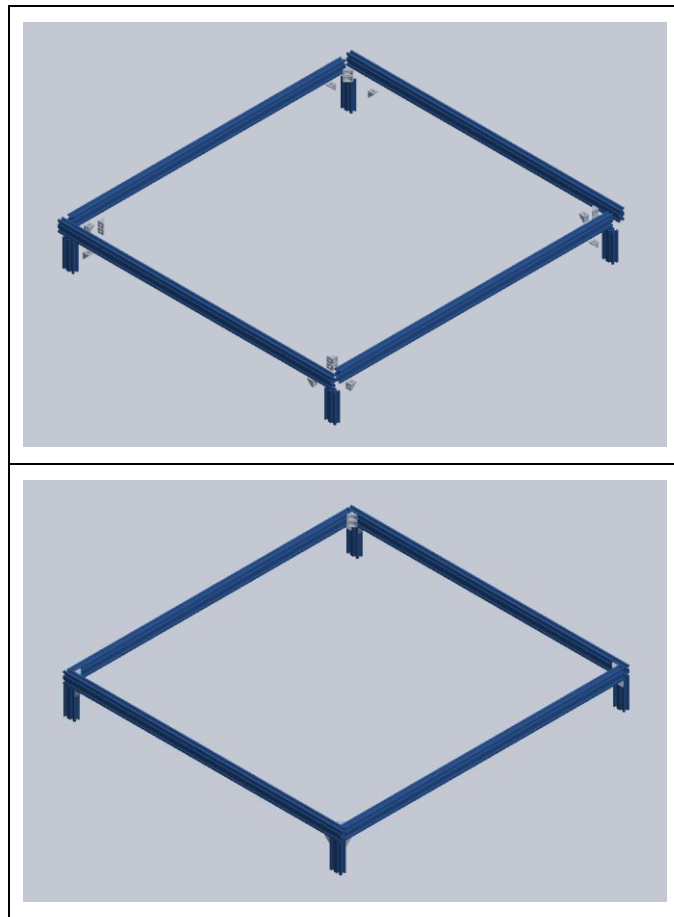
No	Nama komponen	Gambar komponen	Spesifikasi	Jumlah
8.	<i>Teeth pulley</i>		Material: Aluminium Dimensi: 5mm x 16mm x 16mm Tipe: GT2 16T	2
9.	<i>Timing belt</i>		Panjang: 2000 cm Lebar: 5 mm	2
10.	<i>Rail linier</i>		Panjang: 1000mm Tipe: MGN 12	1
11.	Expanded metal		Dimensi: 940mm x 1000mm	1
12.	Linier bearing		Dimensi: 27mm x 35mm x 10mm	5
13.	<i>Holder tube laser CO₂</i>		Dimensi: 46mm x 118mm	2
14.	Tabung laser CO ₂		Dimensi: 50mm x 50mm x 1200mm Daya: 60W	1

D. Perakitan (*assembly*) sistem mekanik mesin *CO₂ laser cutting*

Setelah tahap perancangan selesai, proses selanjutnya adalah pembuatan komponen menggunakan mesin *3D printing*. Komponen-komponen yang dihasilkan kemudian dirakit bersama dengan komponen lain yang diperoleh dari pasaran, sebagaimana tercantum dalam Tabel 2. Proses perakitan sistem mekanik terdiri atas beberapa tahapan yang perlu dilakukan secara terstruktur untuk menjamin fungsi dan kestabilan sistem secara keseluruhan. Tahapan-tahapan perakitan tersebut akan dijelaskan secara rinci pada paragraf-paragraf berikutnya.

- Perakitan *base structure* dan *footer*

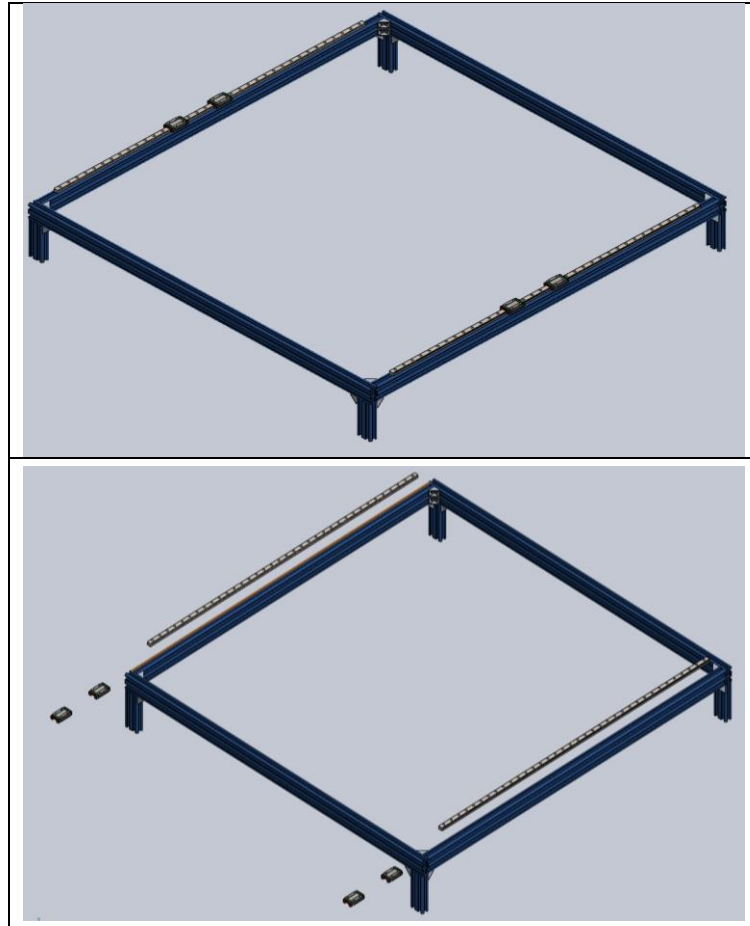
Tahap awal perakitan mesin *CO₂ laser cutting* adalah merakit bagian *base structure* dan *footer*. Komponen utama yang digunakan untuk merakit *base structure* dan *footer* adalah aluminium profil 2040 yang dirangkai menggunakan *L corner*, *T nut*, dan baut. Hasil perakitan *base structure* dan *footer* dinamakan sub rakitan 1. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 1 dapat dilihat pada gambar 21.



Gambar 21. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 1

- Perakitan rel linier sumbu Y

Tahap kedua perakitan mesin *CO₂ laser cutting* adalah merakit sub rakitan 1 dengan *rail linier* dan *bearing*. *Rail linier* tersebut dipasang dengan menggunakan baut dan *T nut* sedangkan *bearing* dipasangkan dengan *rail linier*. Hasil perakitan ini dinamakan sub rakitan 2. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 2 dapat dilihat pada gambar 22.



Gambar 22. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 2

- Perakitan struktur penyangga perangkat laser *cutting*

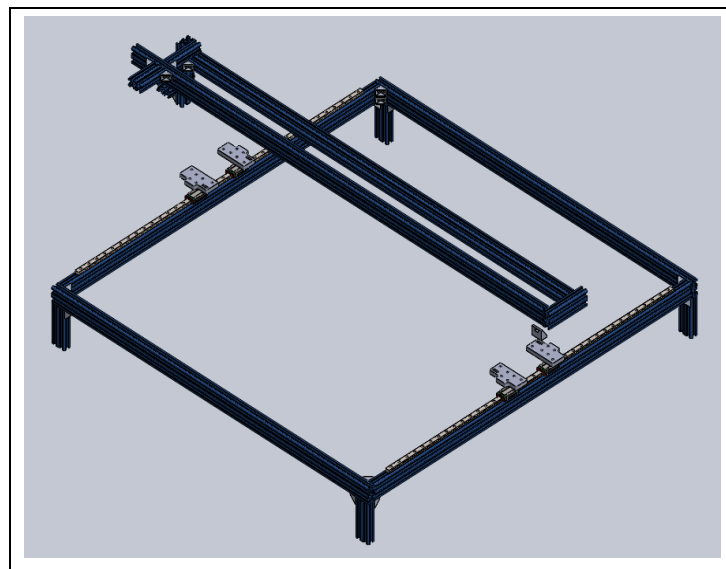
Tahap ketiga perakitan mesin mesin *CO₂ laser cutting* adalah struktur penyangga perangkat laser *cutting*. Komponen utama yang digunakan untuk merakit struktur adalah aluminium profil 2040 yang dirangkai menggunakan *L corner*, *T nut*, dan baut. Tahapan ini dinamakan sub rakitan 3. Model komponen yang dirakit pada sub rakitan 3 dapat dilihat pada gambar 23.

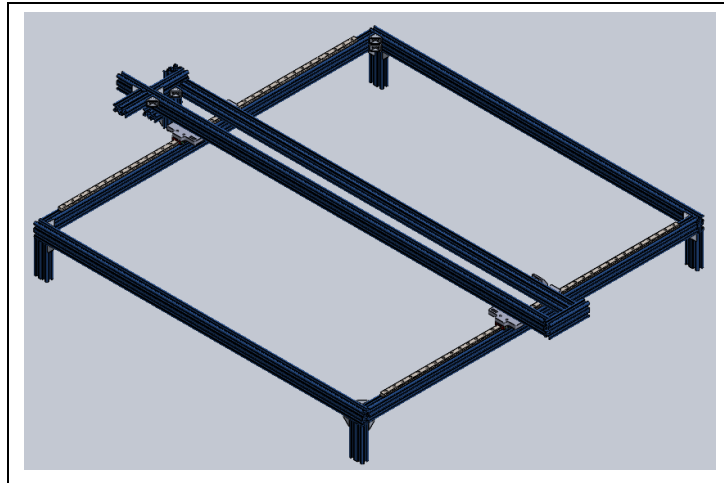
- Perakitan sub rakitan dua dengan sub rakitan tiga

Tahap keempat perakitan mesin mesin *CO₂ laser cutting* adalah merakit sub rakitan dua dengan sub rakitan tiga menggunakan *mounting*, baut dan *T nut*. Hasil perakitan ini dinamakan sub rakitan 4. Model sub rakitan 4 dapat dilihat pada gambar 24.



Gambar 23. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 3

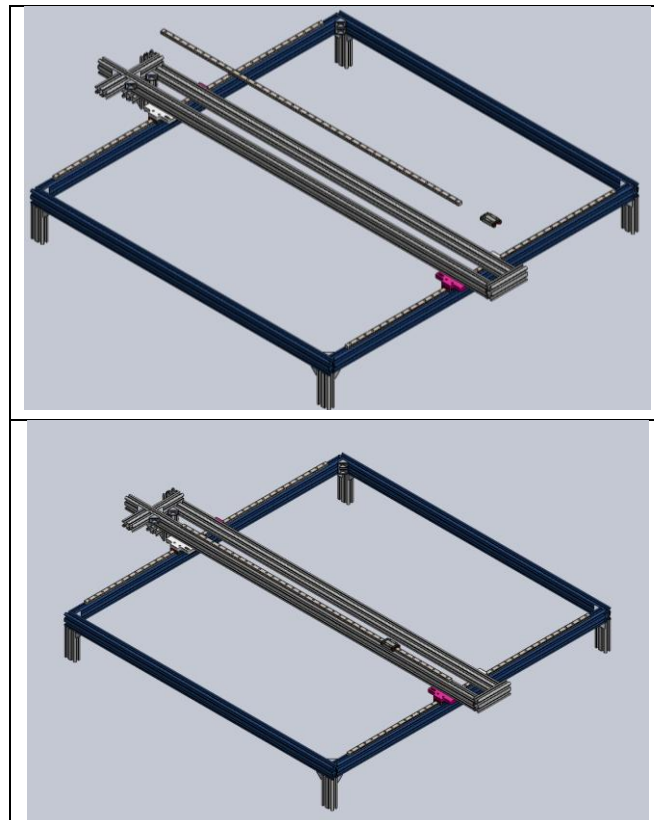




Gambar 24. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 4

- Perakitan *rail linier* dan *bearing* sumbu X pada sub rakitan empat

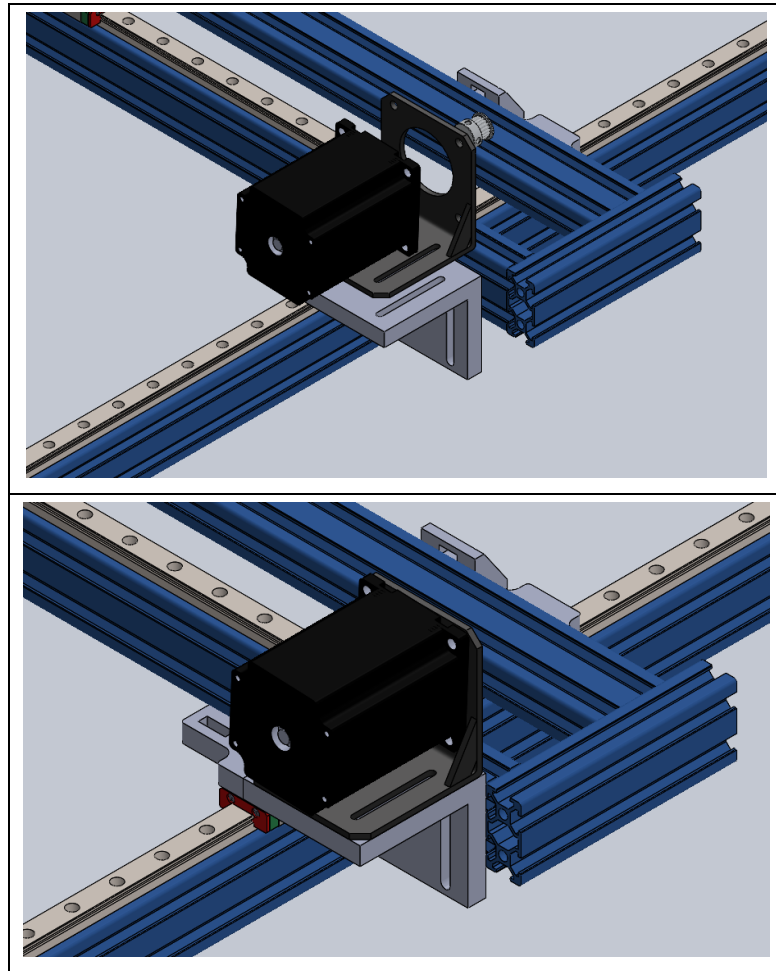
Tahap kelima perakitan mesin *CO₂ laser cutting* adalah merakit sub rakitan empat dengan *rail linier* dan *bearing*. *Rail linier* tersebut dipasang dengan menggunakan baut dan *T nut* sedangkan *bearing* dipasangkan dengan *rail linier*. Hasil perakitan ini dinamakan sub rakitan 5. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 5 dapat dilihat pada gambar 25.



Gambar 25. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 5

- Perakitan motor stepper dan *teeth pulley* pada sub rakitan empat

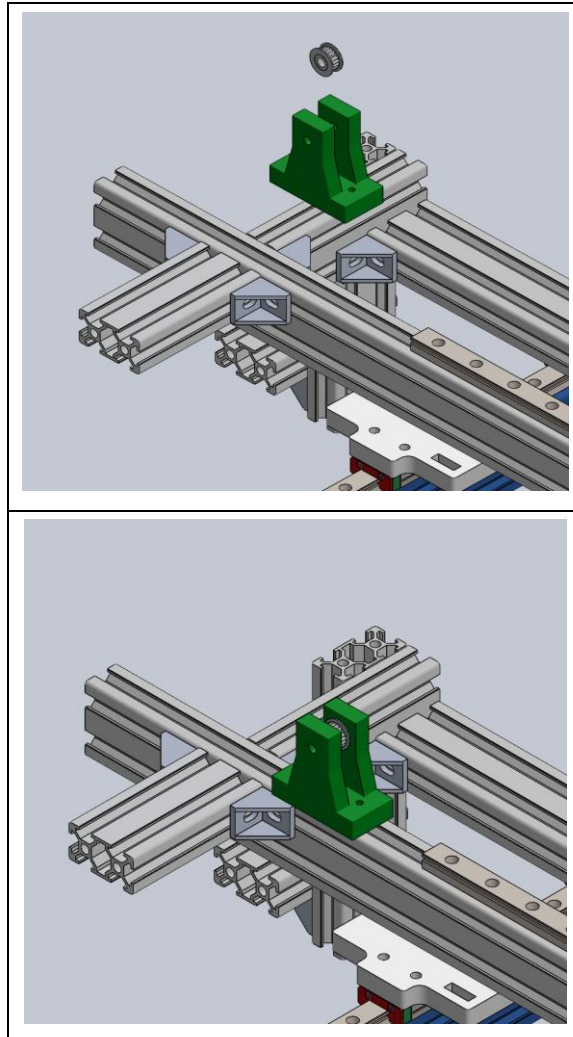
Tahap keenam perakitan mesin *CO₂ laser cutting* adalah merakit motor *strepper* dengan sub rakitan 4. Motor *stepper* tersebut dipasang dengan menggunakan *mounting, bracket* motor stepper, baut dan *T nut* sedangkan *teeth pulley* dipasangkan pada poros motor *stepper* dan dikunci menggunakan baut. Hasil perakitan ini dinamakan sub rakitan 6. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 6 dapat dilihat pada gambar 26.



Gambar 26. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 6

- Perakitan *mounting pulley* dan *pulley* pada sub rakitan enam

Tahap ketujuh perakitan mesin *CO₂ laser cutting* adalah merakit *mounting pulley* dan *pulley* dengan sub rakitan enam. *Mounting pulley* tersebut dipasang dengan menggunakan baut dan *T nut* sedangkan *pulley* dipasangkan dengan *mounting pulley* menggunakan baut dan mur. Hasil perakitan ini dinamakan sub rakitan 7. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 7 dapat dilihat pada gambar 27.



Gambar 27. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 7

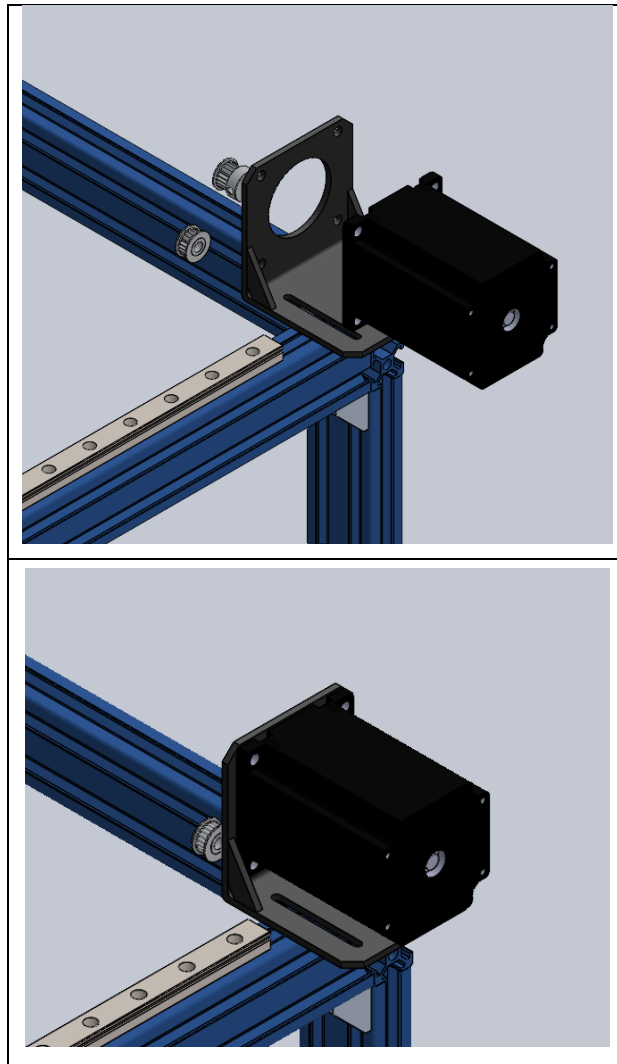
- Perakitan motor *stepper* dan *pulley* pada sub rakitan tujuh

Tahap kedelapan perakitan mesin *CO₂ laser cutting* adalah merakit motor *stepper* dengan sub rakitan tujuh. Motor *stepper* tersebut dipasang dengan menggunakan *mounting*, *bracket motor stepper*, baut dan *T nut* sedangkan *pulley* dipasangkan pada poros motor *stepper* dan dikunci menggunakan baut. Hasil perakitan ini dinamakan sub rakitan 8. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 8 dapat dilihat pada gambar 28.

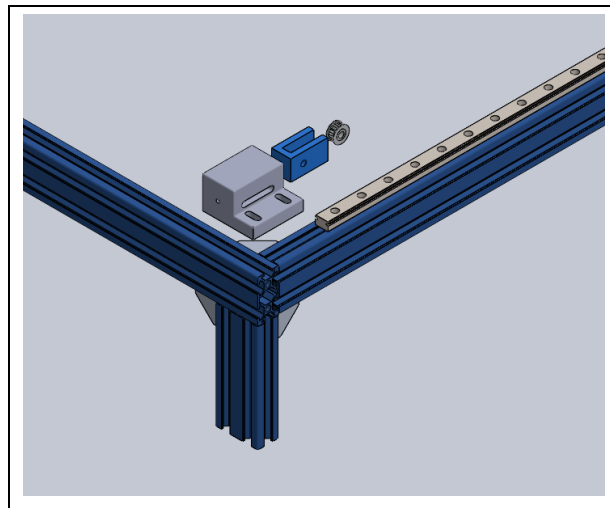
- Perakitan *mounting pulley* dan *pulley* dengan sub rakitan delapan

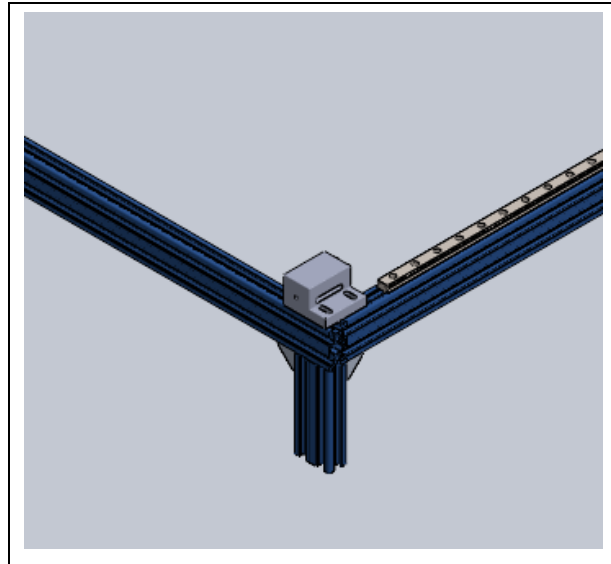
Tahap kesembilan perakitan mesin *CO₂ laser cutting* adalah merakit *mounting pulley* dan *pulley* dengan sub rakitan delapan. *Mounting pulley* tersebut dipasang dengan menggunakan baut dan *T nut* sedangkan *pulley* dipasangkan dengan *mounting pulley*

menggunakan baut dan mur. Hasil perakitan ini dinamakan sub rakitan 9. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 9 dapat dilihat pada gambar 29.



Gambar 28. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 8





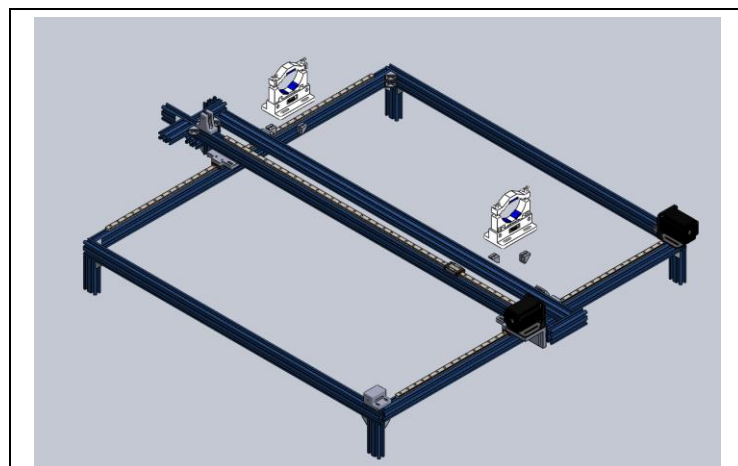
Gambar 29. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 9

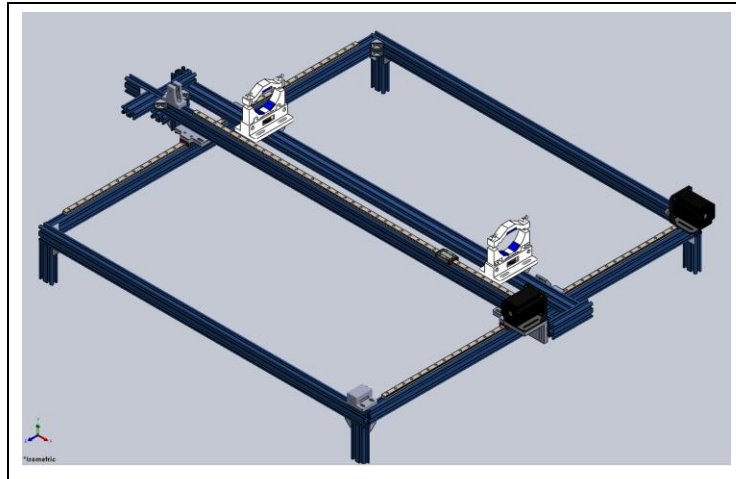
- Perakitan *tube holder* dengan sub rakitan sembilan

Tahap kesepuluh perakitan mesin *CO₂ laser cutting* adalah merakit *tube holder* dengan sub rakitan sembilan. *Tube holder* tersebut dipasang dengan menggunakan *breket* aluminium, baut dan mur. Hasil perakitan ini dinamakan sub rakitan 10. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 10 dapat dilihat pada gambar 30.

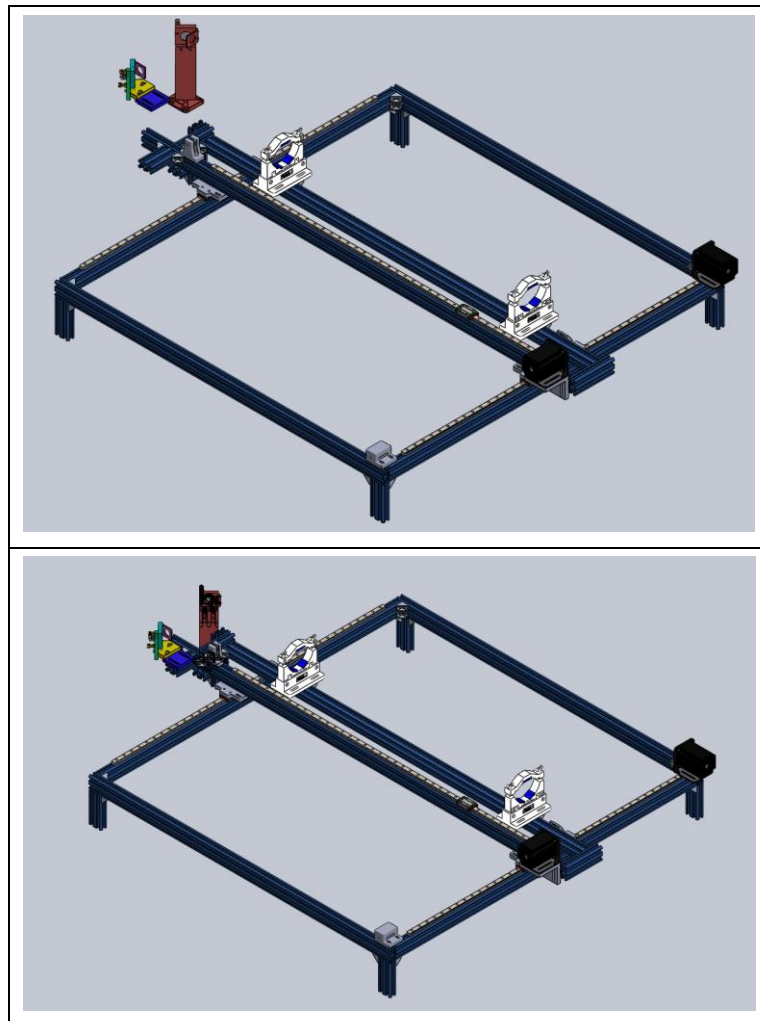
- Perakitan perakitan mirror dengan sub rakitan sepuluh

Tahap kesebelas perakitan mesin *CO₂ laser cutting* adalah merakit *mirror* dengan sub rakitan sepuluh. *Mirror* tersebut dipasang dengan menggunakan baut dan T *nut*. Hasil perakitan ini dinamakan sub rakitan 11. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 11 dapat dilihat pada gambar 31.





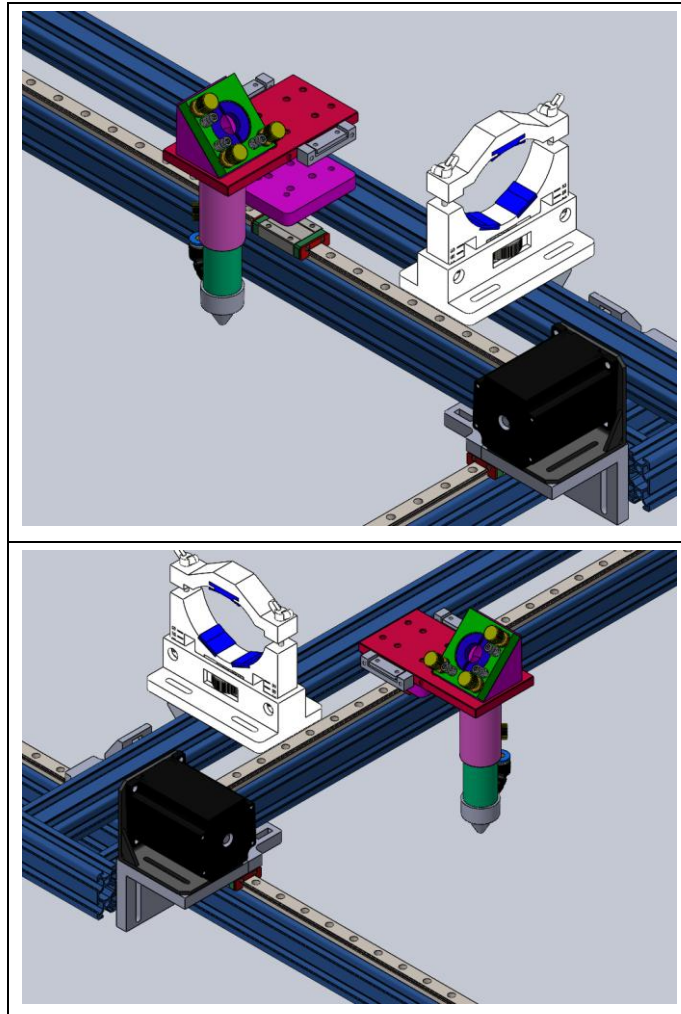
Gambar 30. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 10



Gambar 31. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 11

- Perakitan *laser head* dengan sub rakitan sebelas

Tahap kedua belas perakitan mesin *CO₂ laser cutting* adalah merakit *laser head* dengan sub rakitan sebelas. *laser head* tersebut dipasang dengan menggunakan *mouting*, baut dan mur. Hasil perakitan ini dinamakan sub rakitan 12. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 12 dapat dilihat pada gambar 32.



Gambar 32. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 12

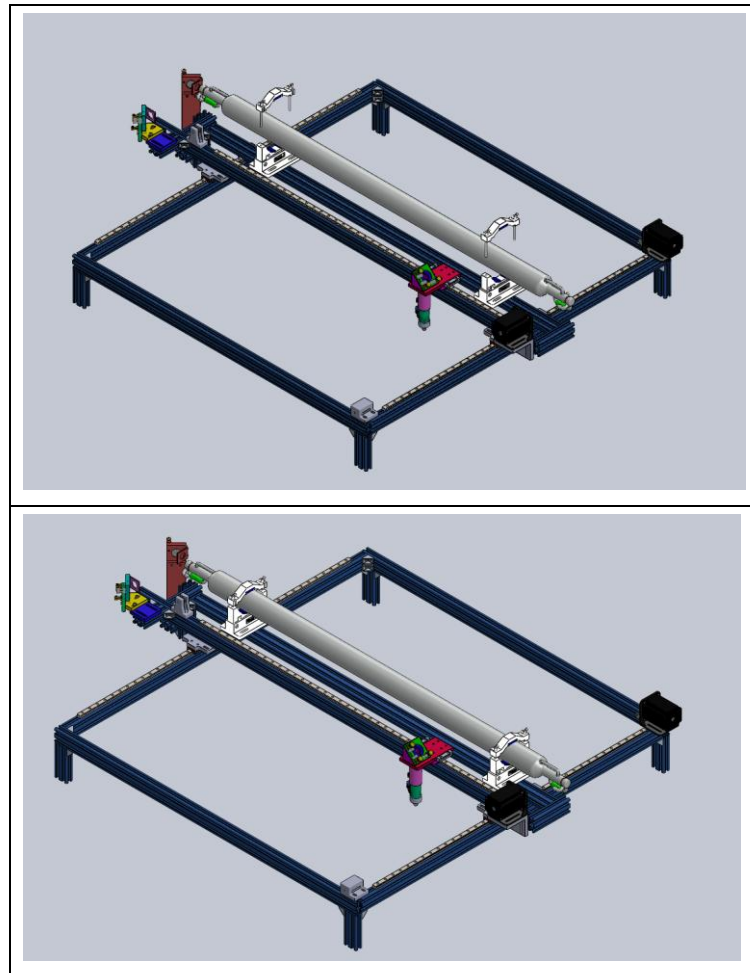
- Perakitan tabung laser pada *holder tube* pada rakitan duabelas

Tahap ketiga belas perakitan mesin *CO₂ laser cutting* adalah merakit tabung laser dengan sub rakitan 12. Tabung tersebut dipasang dengan menggunakan *holder tube*, baut dan mur. Hasil perakitan ini dinamakan sub rakitan 13. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 13 dapat dilihat pada gambar 33.

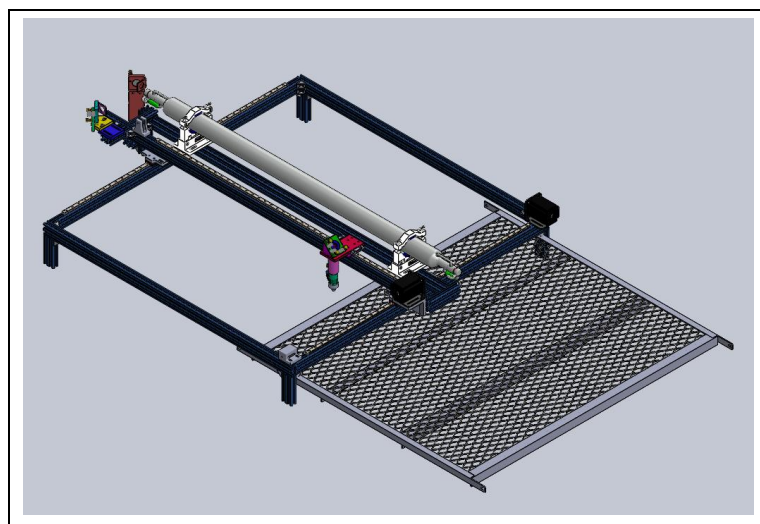
- Perakitan meja kerja pada sub rakitan tiga belas

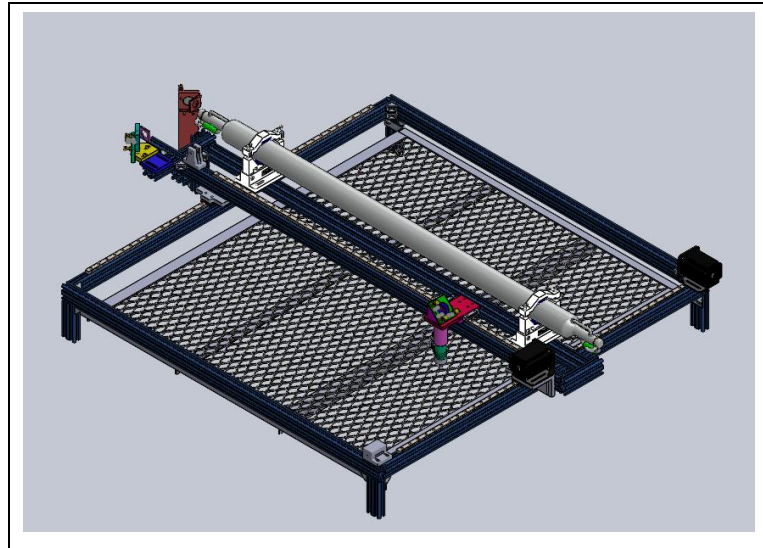
Tahap keempat belas perakitan mesin *CO₂ laser cutting* adalah merakit meja kerja dengan sub rakitan tiga belas. Meja kerja tersebut dipasang dengan menggunakan

baut dan T *nut*. Hasil perakitan ini dinamakan sub rakitan 14. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 14 dapat dilihat pada gambar 34.



Gambar 33. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 13





Gambar 34. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 14

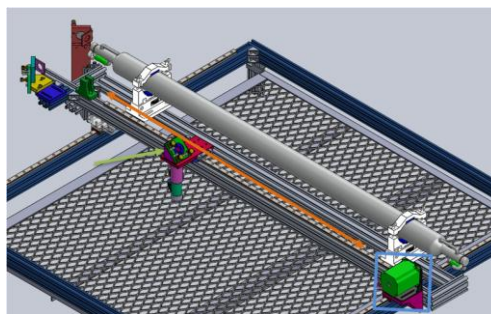
E. Perhitungan torsi untuk menggerakkan *head* laser

Untuk menggerakkan head laser searah sumbu x maupun sumbu y diperlukan motor *stepper*. Motor *stepper* tersebut harus mampu mengatasi hambatan berupa gaya gesek antara permukaan liner *bearing* dengan permukaan *rail linier*. Oleh karena itu diperlukan perhitungan torsi yang harus dimiliki oleh motor *stepper* agar motor *stepper* tersebut mampu menggerakkan *laser head* searah sumbu x maupun sumbu y.

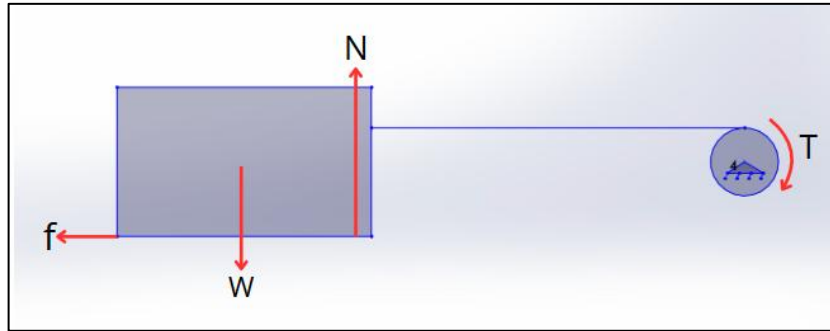
1) Perhitungan torsi yang diperlukan untuk menggerakkan *head* searah sumbu x

Perhitungan torsi yang diperlukan untuk menggerakkan *laser head* pada sumbu X mesin pemotong laser CO₂ dilakukan untuk menentukan apakah motor *stepper* mampu menggerakkan *laser head* tersebut secara efektif. Arah pergerakan *laser head* searah sumbu X dapat dilihat pada Gambar 35.

Untuk mengetahui besar torsi yang dibutuhkan, digunakan beberapa persamaan, yaitu persamaan gaya gesek dan persamaan torsi. Diagram benda bebas dari *laser head* yang digunakan dalam analisis ini dapat dilihat pada Gambar 36.



Gambar 35. arah gerakan head searah sumbu x



Gambar 36. Diagram benda bebas head

- Persamaan gaya gesek

Persamaan gaya gesek digunakan untuk mencari gaya gesek pada *laser head* searah sumbu x. Persamaan tersebut dapat dilihat pada persamaan 1.

$$f = \mu \cdot N \quad (1)$$

Keterangan:

μ = Koefisien gesek

N = Gaya normal dari tumpuan ke *laser head*

Parameter yang sudah diketahui dalam persamaan gaya gesek pada *laser head* searah sumbu x adalah sebagai berikut:

$$N = w = m \cdot g$$

$$m = 0.8 \text{ kg}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}$$

$$N = 0.8 (9.8)$$

$$N = 7.84 \text{ N}$$

$$f = \mu \cdot N$$

$$= 0.1 (7.84)$$

$$= 0.784$$

- Persamaan torsi

Persamaan untuk menghitung torsi yang diperlukan untuk menggerakkan *laser head* searah sumbu x dapat dilihat pada persamaan 2.

$$\text{Torque} = f \cdot r \quad (2)$$

Keterangan:

f = gaya gesek

r = radius pulley

Parameter yang sudah diketahui dalam persamaan 2 adalah sebagai berikut:

$$f = 0.784$$

$$r = 6 \text{ mm} = 0.6$$

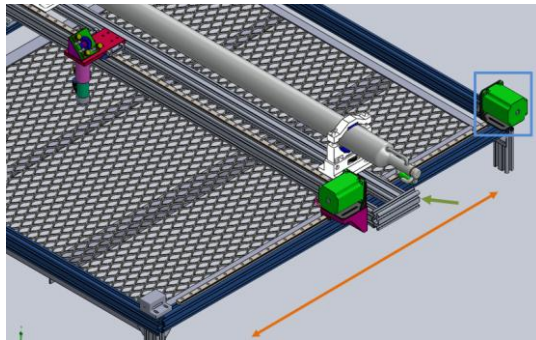
$$T = f \cdot r$$

$$= 0.784 (0.6)$$

$$= 0.4704 \text{ Ncm}$$

2) Perhitungan torsi yang diperlukan untuk menggerakkan *head* searah sumbu y

Perhitungan torsi yang diperlukan untuk menggerakkan *laser head* dan struktur sumbu X secara searah dengan sumbu Y pada mesin laser cutting CO₂ dilakukan untuk mengetahui apakah torsi yang dihasilkan oleh motor *stepper* pada sumbu Y mampu menggerakkan *laser head* beserta komponen lain yang ikut bergerak sepanjang arah sumbu Y. Arah pergerakan *laser head* dan komponen pendukungnya yang bergerak searah sumbu Y dapat dilihat pada Gambar 35.



Gambar 37. *Head* dan komponen lain yang bergerak searah sumbu Y

Untuk menentukan besar torsi yang dibutuhkan pada motor *stepper* sumbu Y, digunakan beberapa persamaan, yaitu persamaan gaya gesek dan persamaan torsi. Diagram benda bebas dari *laser head* yang digunakan dalam analisis ini dapat dilihat pada Gambar 36.

- Persamaan gaya gesek

Persamaan gaya gesek digunakan untuk mencari gaya gesek pada *laser head* searah sumbu y. Persamaan tersebut dapat dilihat pada persamaan 1. Parameter yang sudah diketahui dalam persamaan gaya gesek pada meja cetak searah sumbu y adalah sebagai berikut:

$$\mu = 0.1$$

$$N = w = m \cdot g$$

$$m = 10.465 \text{ kg}$$

$$g = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\begin{aligned}
 N &= 10.465 (9.8) \\
 &= 102.557 \\
 &= 102.557
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f &= \mu \cdot N \\
 &= 0.1 (102.557) \\
 &= 10.2557\text{N}
 \end{aligned}$$

- Persamaan torsi

Persamaan untuk menghitung torsi yang diperlukan untuk menggerakkan *laser head* searah sumbu y dapat dilihat pada persamaan 2. Parameter yang sudah diketahui dalam persamaan 2 adalah sebagai berikut:

$$f = 10.2557 \text{ N}$$

$$r = 6 \text{ mm } 0.6 \text{ cm}$$

$$T = f \cdot r$$

$$= 10.2557 (0.6)$$

$$= 6.33 \text{ Ncm} / 0.0633 \text{ Nm}$$

Dari hasil perhitungan torsi menunjukkan bahwa torsi minimal yang dibutuhkan untuk menggerakkan *laser head* searah sumbu x adalah sebesar 0,4704 Ncm dan torsi yang dibutuhkan untuk menggerakkan *head* laser searah sumbu y adalah sebesar 6.33 Ncm. Nilai ini berada di bawah torsi maksimum yang mampu dihasilkan oleh motor *stepper* NEMA 23, yaitu sebesar 2,3 Nm (230 Ncm). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa motor *stepper* NEMA 23 dapat digunakan untuk menggerakkan *laser head* searah sumbu x maupun searah sumbu y dengan torsi yang mencukupi.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA HASIL PENGUJIAN

1. Pengujian pemotongan mesin CNC laser CO₂

Pengujian pemotongan menggunakan mesin CNC laser CO₂ dilakukan terhadap material akrilik. Lintasan pemotongan bentuk persegi dan lingkaran. Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan tingkat ketepatan dimensi hasil pemotongan dibandingkan dengan desain teknis yang telah dirancang sebelumnya.

Pengujian ini mempertimbangkan sejumlah parameter yang berpengaruh terhadap kualitas hasil pemotongan. Parameter-parameter tersebut meliputi daya laser (*laser power*) dan kecepatan pemotongan (*cutting speed*). Seluruh parameter tersebut disesuaikan berdasarkan bentuk lintasan yang dipotong guna memperoleh hasil pemotongan yang optimal dan sesuai dengan spesifikasi desain.

Proses pengujian ini dilakukan dengan cara mengukur dimensi hasil potongan menggunakan jangka sorong. Sebelum proses pengujian dilaksanakan, terdapat beberapa tahap persiapan yang harus dilakukan. Tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

- Mendesain bentuk atau pola yang akan dipotong,
- Menyimpan desain tersebut ke dalam file dengan format DXF atau SVG,
- Memindahkan file desain ke software lightburn,
- Mengaktifkan mesin laser cutting CO₂,
- Melakukan pengaturan parameter pemotongan (daya laser dan kecepatan potong),
- Mengoperasikan mesin laser cutting untuk proses pemotongan,
- Mengamati serta mencatat hasil pemotongan, dan
- Mengakhiri proses pengujian.

Pengujian mesin *CO₂ laser cutting* ini dilakukan dengan memotong beberapa lintasan dengan bentuk dan ukuran yang berbeda. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kualitas hasil pemotongan mesin *CO₂ laser cutting*. Hasil proses pemotongan dijelaskan pada beberapa paragraf berikut.

a) Pengujian *CO₂ laser cutting* untuk pemotongan berbentuk persegi



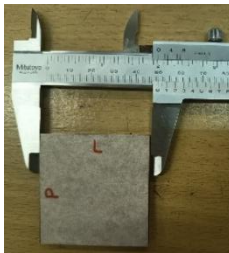
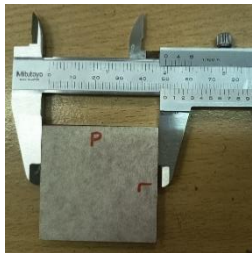
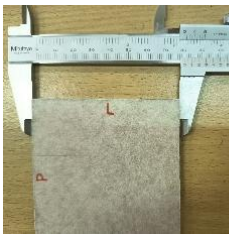
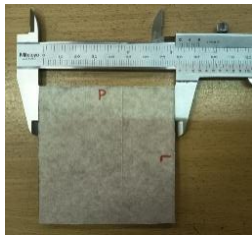
Pengujian mesin *CO₂ laser cutting* untuk memotong material akrilik berbentuk persegi bertujuan untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil potong mesin *CO₂ laser cutting* dengan desain. Parameter pengujian *CO₂ laser cutting* dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Parameter pengujian mesin laser CO₂ untuk memotong benda bentuk persegi

Parameter	Keterangan
Kecepatan potong	2 mm/s
Power laser	100%
Tebal material	5 mm

Dimensi produk hasil pemotongan diukur menggunakan jangka sorong untuk mengevaluasi tingkat presisi mesin CNC CO₂ laser cutting. Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa hasil pemotongan telah sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Data hasil pengujian pemotongan bentuk persegi menggunakan mesin CNC cutting laser CO₂ dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Data pengujian mesin CO₂ laser rakitan untuk memotong bentuk persegi

No	Target potong	Gambar		Keterangan hasil pemotongan
1.	Tebal: 5 mm Lebar: 30 mm Panjang: 30 mm			Tebal: 5mm Lebar: 29.85mm Panjang: 30mm
2.	Tebal: 5 mm Lebar: 50mm Panjang: 50mm			Tebal: 5 mm Lebar: 49.9mm Panjang: 50mm
3.	Tebal: 5 mm Lebar: 80mm Panjang: 80mm			Tebal: 5 mm Lebar: 80.4mm Panjang: 80.mm

Berdasarkan data dari tabel 7 dapat dicari persentase error yang ditunjukkan pada persamaan 3.

$$\% \text{ error} = \frac{\text{Hasil Aktual} - \text{Target}}{\text{Target}} \times 100\% \quad (3)$$

Hasil pengujian pemotongan laser CO₂ menunjukkan bahwa penyimpangan terbesar terjadi pada dimensi lebar, yaitu 0,50% pada spesimen berukuran 30 mm dan 80 mm, serta 0,20% pada spesimen 50 mm. Secara keseluruhan, persentase error maksimum sebesar 0,50%, sehingga hasil pemotongan dapat dikategorikan cukup akurat.

b) Pengujian *CO₂ laser cutting* untuk pemotongan berbentuk lingkaran

Pengujian mesin *CO₂ laser cutting* untuk memotong material akrilik dengan lintasan berbentuk lingkaran bertujuan untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil potong mesin *CO₂ laser cutting* dengan desain. Para meter pengujian *CO₂ laser cutting* dapat dilihat pada tabel.

Tabel 8. Parameter pengujian mesin laser CO₂ untuk memotong bentuk lingkaran

Parameter	Keterangan
Kecepatan potong	2mm/s
Power laser	100%
Tebal material	5 mm



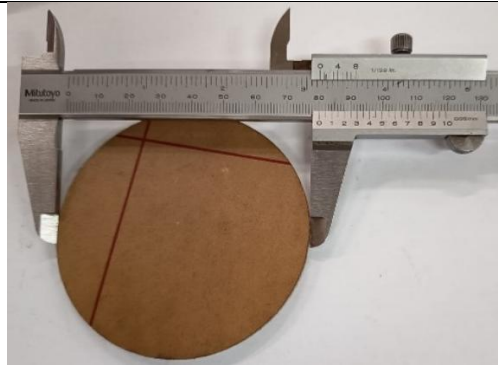
Dimensi produk hasil pemotongan diukur menggunakan jangka sorong untuk mengevaluasi tingkat presisi mesin CNC *CO₂ laser cutting*. Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa hasil pemotongan telah sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Data hasil pengujian pemotongan bentuk lingkaran menggunakan mesin CNC *CO₂ laser cutting* rakitan dapat dilihat pada Tabel 9.

Berdasarkan data dari tabel 9 dapat dicari persentase error yang ditunjukkan pada persamaan 3.

$$\% \text{ error} = \frac{\text{Hasil Aktual} - \text{Target}}{\text{Target}} \times 100\% \quad (3)$$

Hasil pengujian pemotongan menggunakan laser CO₂ pada bentuk lingkaran menunjukkan adanya deviasi pada spesimen. Pada spesimen dengan diameter target 30 mm, terjadi penyimpangan sebesar 0,33%. Pada diameter 50 mm, penyimpangan yang terjadi sebesar 0,20%, sedangkan pada diameter 80 mm penyimpangan mencapai 0,50%. Secara keseluruhan, persentase error maksimum sebesar 0,50%, sehingga hasil pemotongan lingkaran dapat dikategorikan cukup akurat.

Tabel 9. Data pengujian mesin CO_2 laser rakitan untuk memotong bentuk persegi

No	Diameter	Gambar	Hasil
1	\varnothing 30mm		\varnothing 30.1mm
2	\varnothing 50mm		\varnothing 50.1mm
3	\varnothing 80mm		\varnothing 80.4mm

2. Pengujian grafir mesin CNC CO_2 laser

Pengujian grafir pada mesin CNC CO_2 laser dilakukan untuk mengetahui kualitas hasil yang diperoleh pada benda kerja. Tujuan pengujian ini adalah menilai kejelasan serta kerapian pola sesuai dengan desain yang telah ditentukan. Selain itu, pengujian juga bertujuan mengevaluasi pengaruh parameter proses, seperti daya laser, kecepatan grafir, dan ketepatan dimensi hasil akhir. Dengan demikian, data yang diperoleh dapat dijadikan acuan dalam menentukan pengaturan mesin yang tepat agar menghasilkan grafir pada

benda kerja secara presisi dan konsisten. Parameter proses grafir yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. parameter proses grafir gambar

Parameter	Keterangan
Kecepatan potong	30 mm/s
Power laser (PWM)	25%
Rencana grafir	40 mm × 60 mm
Estimasi waktu grafir	8 menit
Hasil grafir	40 mm × 60 mm

Dimensi pola hasil grafir diukur menggunakan jangka sorong untuk mengevaluasi tingkat presisi mesin CNC *CO₂ laser*. Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa grafir yang dihasilkan telah sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Hasil pengujian grafir menggunakan mesin CNC *CO₂ laser* rakitan dapat dilihat pada gambar 38. Beberapa hasil pengujian yang lain dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 38. hasil proses grafir

3. Analisa pengujian

Berdasarkan hasil pengujian mesin CNC *CO₂ laser* yang telah dilakukan, terdapat beberapa data yang perlu dianalisis. Analisis terhadap hasil pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

- a) Pengujian pemotongan menggunakan mesin CNC *CO₂ laser cutting* menunjukkan adanya deviasi pada dimensi lebar maupun diameter spesimen. Penyimpangan terbesar tercatat sebesar 0,50% pada spesimen berukuran 30 mm dan 80 mm, sedangkan pada spesimen 50 mm deviasi hanya sebesar 0,20%. Secara keseluruhan, persentase kesalahan maksimum mencapai 0,50%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem mekanik mesin CNC *CO₂ laser* yang telah dirancang mampu menghasilkan hasil potong dengan tingkat ketelitian yang baik.
- b) Pengujian proses pemotongan dilakukan untuk mengevaluasi parameter kecepatan pemotongan dan daya laser yang digunakan. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa kombinasi parameter tertentu menghasilkan potongan yang rapi, tepi yang halus, serta tidak terjadi cacat pemotongan seperti gosong atau ketidakteraturan garis potong. Hal ini menunjukkan bahwa mesin CNC *CO₂ laser* rakitan mampu bekerja secara stabil pada parameter yang sesuai.
- c) Pengujian grafir dilakukan dengan membuat pola grafir pada benda kerja berukuran 40 × 60 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa grafir yang dihasilkan memiliki kejelasan dan kerapian sesuai dengan desain. Hal ini membuktikan bahwa mesin CNC *CO₂ laser* dapat digunakan tidak hanya untuk proses pemotongan, tetapi juga untuk menghasilkan grafir dengan kualitas yang baik.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah berhasil dibuat sebuah mesin CNC *CO₂ laser cutting* dengan area kerja 50 cm × 80 cm. Mesin ini dirancang agar memiliki biaya produksi yang lebih murah serta mampu menghasilkan kualitas pemotongan dan grafir yang mendekati atau setara dengan mesin CNC *CO₂ laser cutting* komersial. Proses perancangan dan pembuatan sistem mekanik dilakukan secara sistematis, mencakup pemilihan material rangka, pembuatan beberapa komponen pendukung, serta proses perakitan dan pengujian sistem mekanik. Hasil perakitan menunjukkan bahwa mesin CNC *CO₂ laser cutting* yang telah dibuat memiliki stabilitas gerakan yang baik selama proses pemotongan maupun grafir.

Dari hasil pengujian ditunjukkan bahwa mesin CNC *CO₂ laser cutting* yang dirancang dan dibuat mampu memotong akrilik hingga ketebalan 5 mm. Pengujian pemotongan spesimen menunjukkan adanya penyimpangan 0,50% pada pemotongan bentuk bujur sangkar dengan lebar 30mm. Penyimpangan 0,50% juga terjadi pada pemotongan lingkaran dengan diameter 30 mm. Penyimpangan 0,20% terjadi pada pemotongan bujursangkar dengan lebar 50 mm. Dengan error maksimum 0,50%, kualitas pemotongan dikategorikan akurat dan konsisten. Secara keseluruhan, sistem mekanik mesin ini terbukti stabil, efisien secara biaya, serta menghasilkan pemotongan dan grafir berkualitas baik. Mesin ini berpotensi menjadi alternatif andal bagi industri dan usaha kecil yang memerlukan mesin pemotong dan grafir berdimensi besar dengan harga terjangkau.

2. Saran

Mesin CNC *CO₂ laser cutting* rakitan yang dibuat dalam penelitian ini masih memiliki keterbatasan, yaitu pada sistem pendinginan tabung laser. Meskipun telah dilengkapi dengan sirkulasi pendingin, namun perangkat untuk menurunkan temperatur media pendingin belum tersedia. Oleh karena itu, disarankan agar ditambahkan perangkat pendingin tambahan, seperti radiator atau *chiller*, sehingga temperatur media pendingin dapat lebih terkontrol dan kinerja tabung laser menjadi lebih stabil serta tahan lama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Hasibuan, N. F. Hasibuan, R. P. Ritonga, and M. faris alwafi, "Optimalisasi manajemen operasional dalam meningkatkan efisiensi produksi di industri manufaktur," May 2025, Accessed: Nov. 02, 2025. [Online]. Available: <http://jurnal.ulb.ac.id/index.php/JCoInT/index>
- [2] Z. Lai, Y. Xiao, Z. Chen, H. Li, and L. Huang, "Preserving Woodcraft in the Digital Age: A Meta-Model-Based Robotic Approach for Sustainable Timber Construction," *Buildings*, vol. 14, no. 9, p. 2900, Sep. 2024, doi: 10.3390/buildings14092900.
- [3] Jati Utomo Dwi Hatmoko, "Revolusi Industri 4.0 - Perspektif Teknologi, Manajemen, dan Edukasi," 2021, Accessed: Jul. 02, 2025. [Online]. Available: <https://doc-pak.undip.ac.id/id/eprint/10535/1/Book%20Chapter%20-%202021%20Revolusi%20Industri%204.0%20-%20Perspektif%20Teknologi%2C%20Manajemen%2C%20dan%20Edukasi.pdf>
- [4] E. Prianto, M.Eng, "Proses permesinan CNC dalam pembelajaran simulasi CNC," *Jurnal Edukasi Elektro*, vol. 1, no. 1, Aug. 2017, doi: 10.21831/jee.v1i1.15110.
- [5] R. Hartono, G. Santoso, T. Supriyono, M. Gia Pratama, N. Darmawan, and I. Feriawan, "Design and Manufacturing of Cutting Motion Kontrol System on 3-Axis Router Machine for Wood Carving," 2021. Accessed: Nov. 06, 2025. [Online]. Available: <https://www.atlantis-pess.com/proceedings/icstms-20/125960675>
- [6] A. Bagdja, D. Lazuardi, Sugiharto, M. S. Permana, W. Kwintarini, and R. Hartono, "'One Stop Machining' Toward Integrated CNC Machine in Industry 5.0," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics, 2025. doi: 10.1088/1742-6596/2972/1/012060.
- [7] Agung Ari Purwanto, Ari Wijayanto, Nurmadina, and Alfani Risman Nugroho, "Aplikasi Pemograman Mesin CNC Perkayuan Untuk Industri 4.0 Bagi Guru SMK Negeri 2 Kendal Jawa Tengah," 2021, Accessed: Jul. 02, 2025. [Online]. Available: <https://jurnal-umbuton.ac.id/index.php/ppm/article/view/1128/729>
- [8] R. Herlianti and H. Hasbullah, "Implementasi Value Stream Mapping dalam Optimalisasi Proses Bisnis: Tinjauan Pustaka," *Jurnal Media Teknik dan Sistem Industri*, vol. 8, no. 2, p. 124, Sep. 2024, doi: 10.35194/jmtsi.v8i2.4615.

- [9] C. Hu *et al.*, “Simulation and Experimental Investigation of the Surface Morphology Formation Mechanism of a D-shaped Fiber Processed Using a Pulsed CO₂ Laser,” *Opt Laser Technol*, vol. 153, p. 108195, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.optlastec.2022.108195.
- [10] R. Kusmayanto, G. Heryana, and Jatira, “Perancangan Sistem Mekanik Penggerak Sumbu X dan Y pada Mesin CNC (Computer Numerical Control) CO₂ Laser Cutting,” *Journal of Applied Mechanical Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 20–27, Nov. 2023, doi: 10.31884/jamet.v2i2.38.
- [11] S. Hadi, Mafruddin, and T. C. Wahyudi, “Rancang Bangun Mesin CNC Laser CO₂ 2 Axis Berbasis Microcontroler dengan Softwer Mach 3,” vol. ARMATUR vol. 2 No. 2, 2021, Accessed: Jul. 02, 2025. [Online]. Available: <http://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>
- [12] StyleCNC, “CNC Laser CO₂.” Accessed: Sep. 16, 2025. [Online]. Available: <https://www.stylecnc.com/laser-engraving-machine/>
- [13] A. Nurcahyono, “Pengertian Sistem Mekanik.” Accessed: Aug. 12, 2025. [Online]. Available: <https://redasamudera.id/author/jamilatulain/>
- [14] A. Muchlis, W. Ridwan, and I. Z. Nasibu, “Rancang bangun mesin CNC (computer numerical control) Laser dengan metode design for assembly,” vol. 3, 2021, Accessed: Nov. 02, 2025. [Online]. Available: <https://ejurnal.ung.ac.id/index.php/jjee/article/view/9228/2535>
- [15] E. Ben Younes, C. Chagnenet, J. Bruyère, E. Rigaud, and J. Perret-Liaudet, “Multi-objective Optimization of Gear Unit Design to Improve Efficiency and Transmission Error,” *Mech Mach Theory*, vol. 167, p. 104499, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2021.104499.
- [16] I. Irwanuddin and S. Ma’arif, “Exploring the Potential of Laser Technology to Enhance the Performance of Renewable Energy Power Generation,” vol. 2, no. 1, pp. xx–xx, 2023, Accessed: Aug. 12, 2025. [Online]. Available: <https://journal.unindra.ac.id/index.php/sainsmath/article/view/2078>
- [17] H. Ma’mun, G. K. Naufal, and A. Mukhtar, “Rancang Bangun Laser Grafir Portabel Berdaya Rendah Pada Media Kayu,” *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, vol. 3, no. 2, pp. 8–14, Aug. 2024, doi: 10.56862/irajtma.v3i2.122.

- [18] M. S. Y. Lubis, A. Wiyoso, H. Wibowo, and S. Ariyanti, "Penentuan Parameter Proses Laser Cutting Terhadap Kekasaran Permukaan Material Acrylic," *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, vol. 2, no. 2, pp. 19–28, Aug. 2023, doi: 10.56862/irajtma.v2i2.43.
- [19] H. Mahmudi, "Analisa Perhitungan Pulley dan V-Belt pada Sistem Transmisi Mesin Pencacah," *Jurnal Mesin Nusantara*, vol. 4, no. 1, pp. 40–46, Jul. 2021, doi: 10.29407/jmn.v4i1.16201.
- [20] S. K. Wicahyono, "Rancang Bangun Sistem Penggerak pada Mesin Pemotong Adonan Kerupuk Rambak Tapioka Kapasitas 100 Kg/Jam," Jul. 2023. Accessed: Aug. 12, 2025. [Online]. Available: https://repository.unpkediri.ac.id/10058/3/RAMA_21201_18103010101_0713088502_0728088503_01_front_ref.pdf
- [21] R. A. Saputra, M. Muslimin Ilham, and S. Fauzi, "Rancang Bangun Sistem Penggerak Mesin Pengering Cengkeh Kapasitas 15 Kg," Jul. 2021. Accessed: Aug. 12, 2025. [Online]. Available: <https://proceeding.unpkediri.ac.id/index.php/inotek/article/view/1089/700>
- [22] A. Salam, S. Rasyid, A. Alim, A. Uswat Hasnan, and K. Khalid, "Pengembangan sistem kontrol mesin CNC training unit 3 axis," *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, vol. 23, no. 1, pp. 129–136, Sep. 2025, doi: 10.31963/sinergi.v23i1.4990.
- [23] A. Rohmatulloh and M. Kusban, "Sistem Pengontrol Suhu CNC Laser Cutting 40W dengan Modul TEC1-12706," *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, pp. 84–92, Apr. 2024, doi: 10.23917/emitor.v24i1.4365.
- [24] K. Uno, S. Watarai, Y. Kodama, K. Yoneya, and T. Jitsuno, "Longitudinally excited short-pulse CO₂ laser with large discharge tube without preionization," *Opt Laser Technol*, vol. 148, p. 107745, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.optlastec.2021.107745.
- [25] M. Liu *et al.*, "Radio-frequency distributed-exciting waveguide CO₂ laser with gain length of 14.0 m," *Opt Commun*, vol. 580, p. 131611, May 2025, doi: 10.1016/j.optcom.2025.131611.
- [26] Lajarus Teknik, "Tabung Laser CO₂." Accessed: Sep. 16, 2025. [Online]. Available: <https://shopee.co.id/Lajarus-Tabung-Laser-CO2-Laser-Tube-50w-Tabung-Laser-50watt-i.6309577.7819679142>

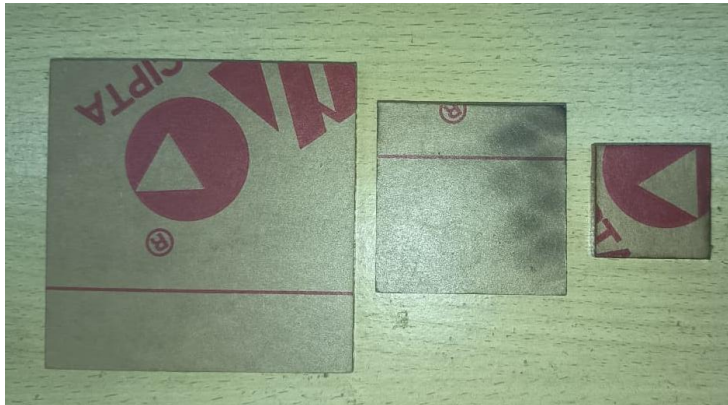
- [27] S. Rajput, F. Zahid, F. H. Dahri, N. A. Assar, and I. A. Channa, “High-voltage power supply: design considerations and optimization techniques,” *ICCK Transactions on Sensing, Communication, and Control*, vol. 2, no. 1, p. 1, Feb. 2025, doi: 10.62762/tsc.2024.741277.
- [28] Cloudray, “Power Supply Laser CO2.” Accessed: Sep. 16, 2025. [Online]. Available: <https://www.cloudraylaser.com/collections/power-supply>
- [29] Cloudray, “CO2 Laser Head.” Accessed: Sep. 16, 2025. [Online]. Available: https://www.cloudraylaser.com/search?q=co2+laser+head&_pos=2&_psq=head&_ss=e&_v=1.0
- [30] M. Hojati and A. Baktash, “Design and fabrication of a new hybrid stepper motor with significant improvements in torque density,” *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 24, no. 5, pp. 1116–1122, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.jestch.2021.01.016.
- [31] D. Zhang, J. Wang, L. Qian, and J. Yi, “Stepper motor open-loop control system modeling and control strategy optimization,” *Archives of Electrical Engineering*, vol. 68, no. 1, pp. 63–75, 2019, doi: 10.24425/aee.2019.125980.
- [32] Core Electronics, “TB6600 Stepper Motor Driver.” Accessed: Sep. 16, 2025. [Online]. Available: <https://core-electronics.com.au/tb6600-stepper-motor-driver.html>
- [33] Superbtech, “V-Slot Aluminium Extrusion Profile.” Accessed: Sep. 16, 2025. [Online]. Available: <https://superbtech.in/product/v-slot-2040-aluminium-extrusion-profile/>
- [34] Pusat Baja Beton, “Profil Baja Siku.” Accessed: Sep. 16, 2025. [Online]. Available: <https://www.pusatbajabeton.com/siku/>
- [35] Pinhom, “Material Akrilik.” Accessed: Sep. 16, 2025. [Online]. Available: <https://www.pinhome.id/kamus-istilah-properti/akrilik/>
- [36] Thevrsuperstore, “3D Printing Filament for FDM 3D Printer Filament PLA.” Accessed: Sep. 16, 2025. [Online]. Available: <https://thevrsuperstore.com/product/jayo-pla-silk-pla-plus-petg-3d-printing-filament-for-fdm-3d-printer-filament-pla-1kg-1-75mm-free-shipping/>

LAMPIRAN

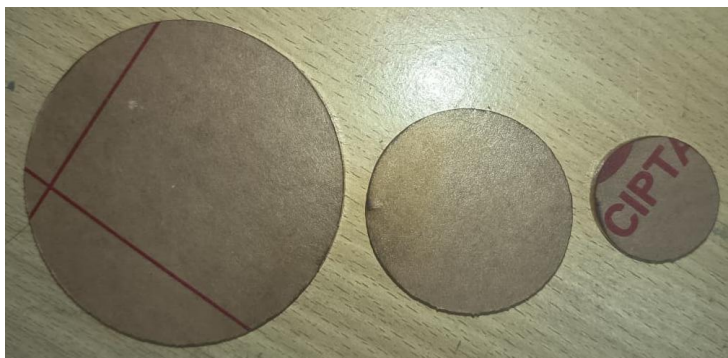
1. Foto-Foto kegiatan

Foto-foto kegiatan berikut merupakan hasil pemotongan dan grafir menggunakan mesin CNC CO₂ laser cutting yang telah dirancang dan dibuat. Selama proses pemotongan dan grafir, sistem mekanik mesin CNC CO₂ laser cutting beroperasi dengan normal. Beberapa hasil pemotongan dan grafir yang telah dirancang ditampilkan sebagai berikut:

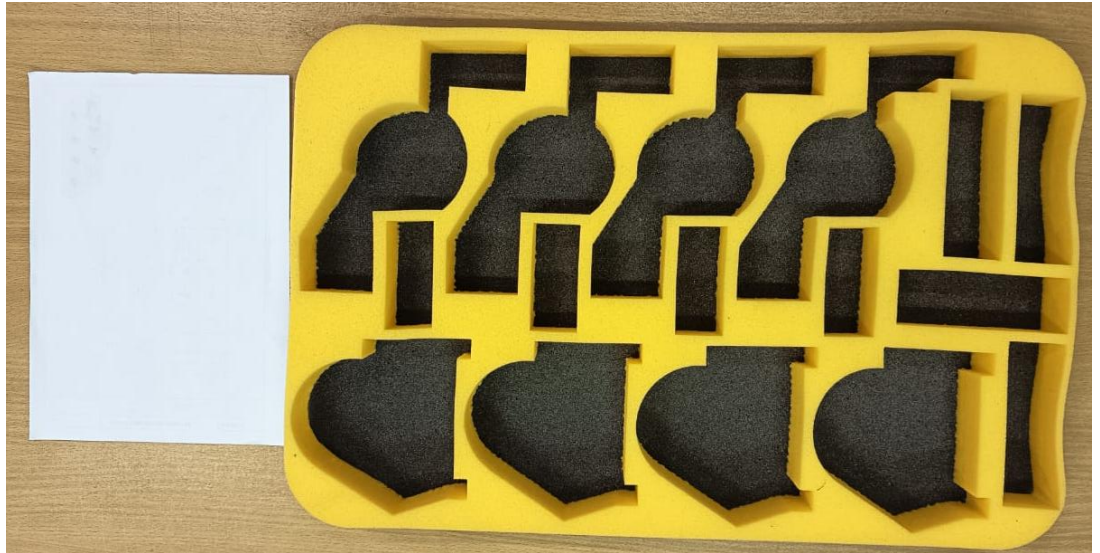
- Foto hasil pemotongan bentuk persegi



- Foto hasil pemotongan bentuk persegi



- Foto hasil pemotongan pola berbeda-beda (Kemasan inti cetak pasir).



- Foto hasil grafir foto.



- Hasil grafir gambar animasi



2. Anggaran biaya pembuatan mesin CNC *CO₂ laser*

Estimasi anggaran untuk perancangan dan pembuatan sistem mekanik mesin *CO₂ laser cutting* berbasis CNC dapat dilihat pada table dibawah.

- **Perangkat potong laser**

No	Nama barang	Jumlah	Harga	Total
1	Laser tube 60 W	1	Rp 3,100,000.00	Rp 3,100,000.00
2	Nozzle head & bracket mirror	1	Rp 2,350,000.00	Rp 2,350,000.00
3	Power supply 60 W CO ₂	1	Rp 650,000.00	Rp 650,000.00
4	Holder tube	1	Rp 350,000.00	Rp 350,000.00
Total				Rp 6,450,000.00

- **Sistem penggerak**

No	Nama barang	Jumlah	Harga	Total
1	MGN 12- linear rail 700 mm	2	Rp 252,000.00	Rp 504,000.00
2	MGN 12- linear rail 1000 mm	1	Rp 360,000.00	Rp 360,000.00
3	MGN 12- linear guide	5	Rp 100,000.00	Rp 500,000.00
4	Timing pully GT2-20	2	Rp 10,000.00	Rp 20,000.00
5	Idler pully Gt2-20	4	Rp 14,000.00	Rp 56,000.00
6	Timing belt GT2 5 meter	1	Rp 70,000.00	Rp 70,000.00
7	Motor stepper nema 23	2	Rp 230,000.00	Rp 460,000.00
8	Driver motor TB6600	2	Rp 75,000.00	Rp 150,000.00
9	L bracket stepper nema 23	2	Rp 17,000.00	Rp 34,000.00
10	3D printing mounting	1	Rp 200,000.00	Rp 200,000.00
11	Akrilik mounting	1	Rp 150,000.00	Rp 150,000.00
Total				Rp 2,504,000.00

- **Sistem pendingin**

No	Nama barang	Jumlah	Harga	Total
1	Selang silikon 10 meter	1	Rp 150,000.00	Rp 150,000.00
2	Pompa air DC 12 volt	1	Rp 95,000.00	Rp 95,000.00
3	Pompa udara	1	Rp 160,000.00	Rp 160,000.00
4	Selang hose PU 4 meter	1	Rp 50,000.00	Rp 50,000.00
5	Control valve	1	Rp 50,000.00	Rp 50,000.00
Total				Rp 505,000.00

- **Rangka dan meja kerja**

No	Nama barang	Jumlah	Harga	Total
1	Alumunium profile 20x40 35 cm	1	Rp 35,000.00	Rp 35,000.00
2	Alumunium profile 20x40 6 meter	1	Rp600,000.00	Rp 600,000.00
3	Alumunium bracket corner	12	Rp 4,000.00	Rp 48,000.00
4	Expanded metal	1	Rp 80,000.00	Rp 80,000.00
5	Profil siku 6 meter	1	Rp 85,000.00	Rp 85,000.00
6	Spray paint	1	Rp 26,000.00	Rp 26,000.00
7	Dempul 250 gr	1	Rp 20,000.00	Rp 20,000.00
8	Baut L 5x10	30	Rp 600.00	Rp 18,000.00
9	Baut L 5x16	10	Rp 600.00	Rp 6,000.00
10	Baut L 5x25	15	Rp 600.00	Rp 9,000.00
11	Baut L 4x15	10	Rp 600.00	Rp 6,000.00
12	Baut L 3x15	24	Rp 600.00	Rp 14,400.00
13	T slot M3	24	Rp 1,200.00	Rp 28,800.00
14	T slot M4	10	Rp 1,200.00	Rp 12,000.00
15	T slot M5	40	Rp 3,000.00	Rp 120,000.00
Total				Rp 1,108,200.00

- **Sistem kontrol**

No	Nama barang	Jumlah	Harga	Total
1	Drag chain 1 meter	1	Rp 130,000.00	Rp 130,000.00
2	Kabel 10 meter	1	Rp 30,000.00	Rp 30,000.00
3	Power supply 12 volt	1	Rp 120,000.00	Rp 120,000.00
4	High voltage conector	1	Rp 20,000.00	Rp 20,000.00
5	Push button emergency stop	1	Rp 12,000.00	Rp 12,000.00
6	Aviation connector	5	Rp 10,000.00	Rp 50,000.00
7	Soket AC	1	Rp 10,000.00	Rp 10,000.00
8	Spacer PCB	4	Rp 600.00	Rp 2,400.00
9	Akriilik Box	1	Rp 500,000.00	Rp 500,000.00
10	Driver extension shield	2	Rp 50,000.00	Rp 100,000.00
11	CNC shield V3	1	Rp 30,000.00	Rp 30,000.00
12	Arduino uno	1	Rp 90,000.00	Rp 90,000.00
Total				Rp 1,094,400.00

- **Total biaya pembuatan mesin CNC CO2 laser**

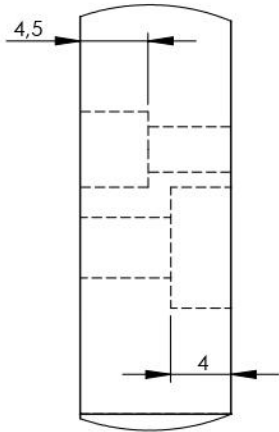
Bagian utama laser CO2	Harga
Sumber laser	Rp 6,450,000.00
Sistem pendingin	Rp 505,000.00
Sistem penggerak	Rp 2,504,000.00
Struktur rangka dan meja kerja	Rp 1,108,200.00
Sistem kontrol	Rp 1,094,400.00
Total	Rp 11,661,600.00

1. Data kuesioer penentuan bobot pada kriteria desain

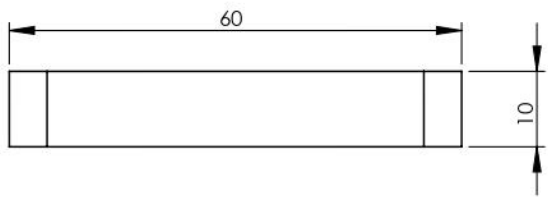
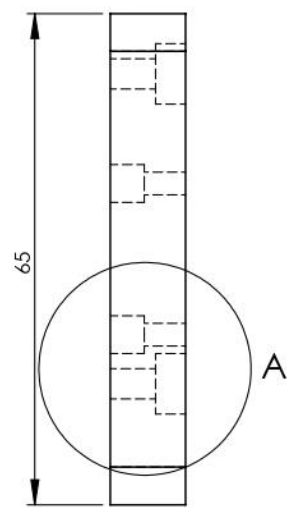
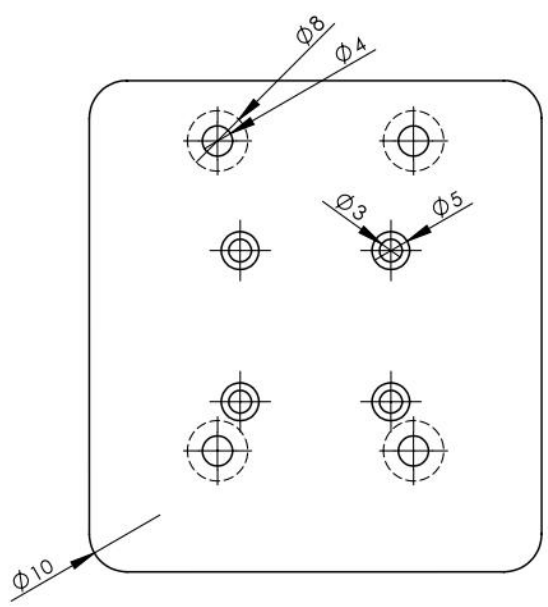
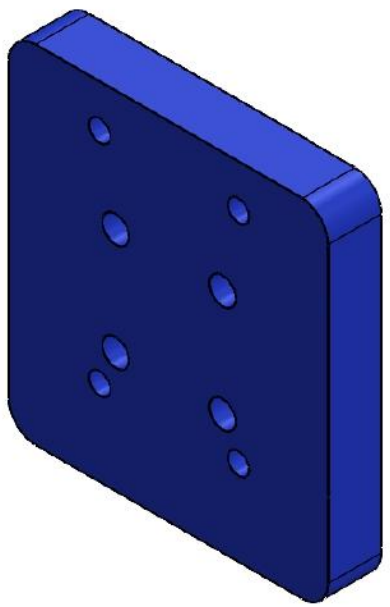
Kriteria	Kuesioner penentuan bobot pada kriteria desain																																	Total	bobot %	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33			
Dimensi 50 x80 cm	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	29	15.85%
Pemotonga material akrilik 1-5 mm	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	29	15.85%
Pemotongan material lain	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	22	12.02%	
Kemudahan mobilitas	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	22	12.02%	
Bahan baku mudah ditempatkan	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	28	15.30%	
Hasil pemotongan dapat langsung digunakan	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	26	14.21%		
Suku cadang tersedia dipasaran	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	27	14.75%	
Total																																		183	100.00%	

2. Gambar Teknik

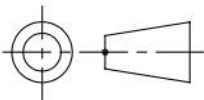
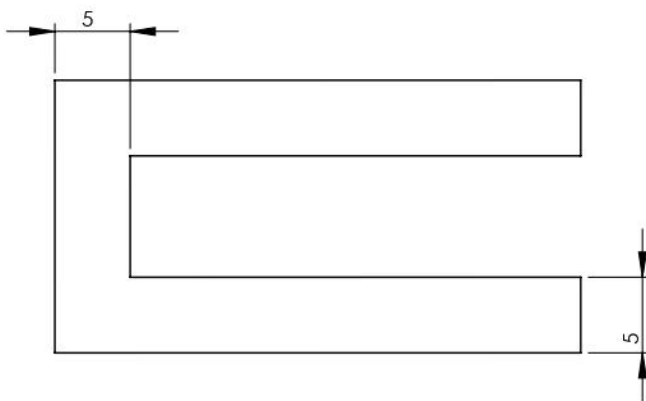
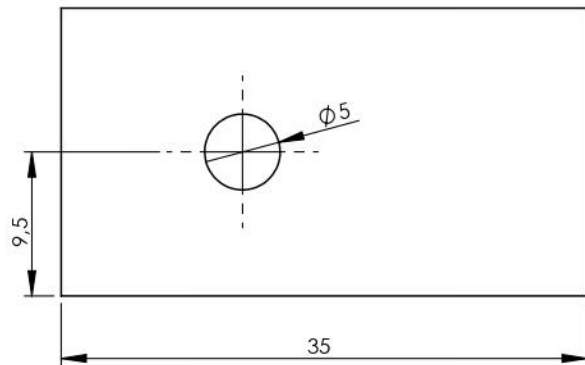
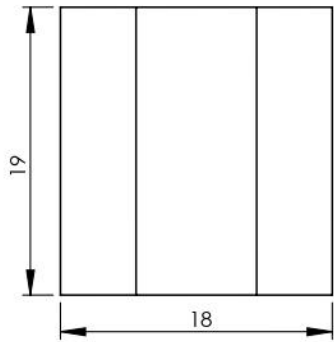
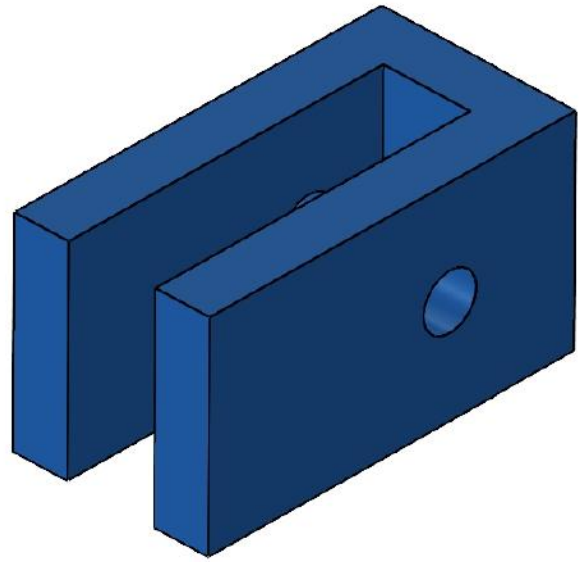
Beberapa gambar teknik dibawah ini adalah gambar Teknik komponen yang dibuat menggunakan filament dan akrilik.



DETAIL A
SCALE 2 : 1



	Skala : 1:1	Digambar: YOV VANDRI	Keterangan:
	Satuan : mm	NIM : 213030060	
	Tanggal : 29/10/2025	Dilihat : DR. IR. RACHMAD HARTONO, M.T.	



Skala : 1:1

Satuan : mm

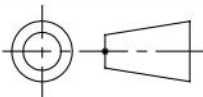
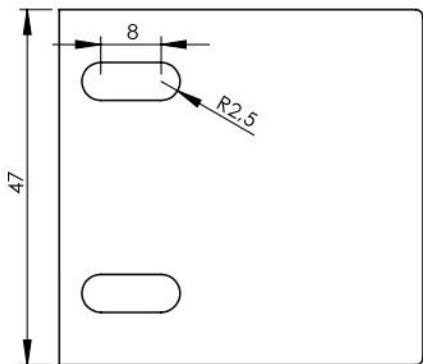
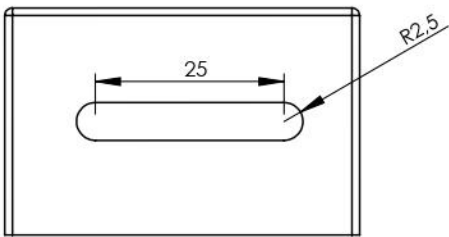
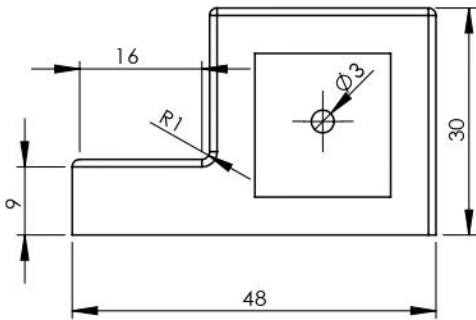
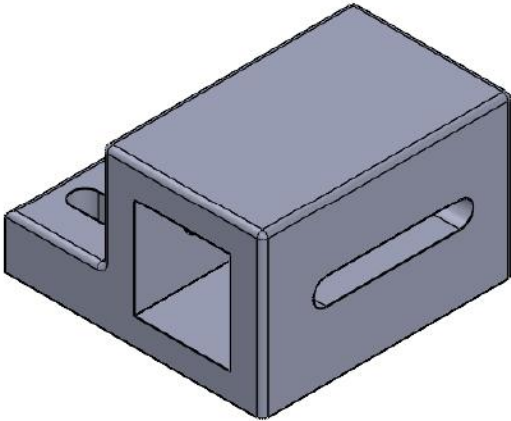
Tanggal : 29/10/2025

Digambar: YOV VANDRI

NIM : 213030060

Dilihat : DR. IR. RACHMAD HARTONO, M.T.

Keterangan:



Skala : 1:1

Satuan : mm

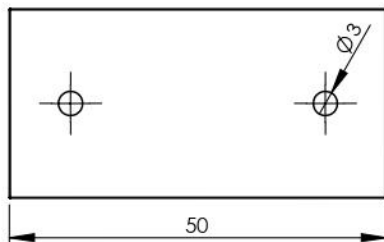
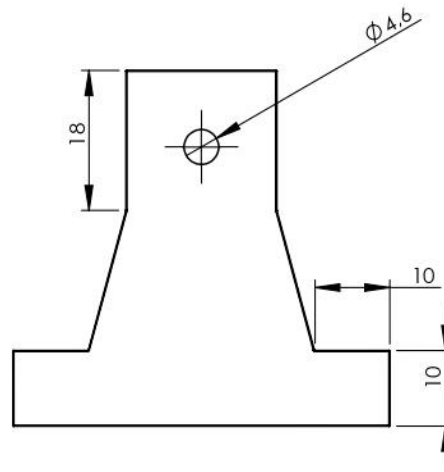
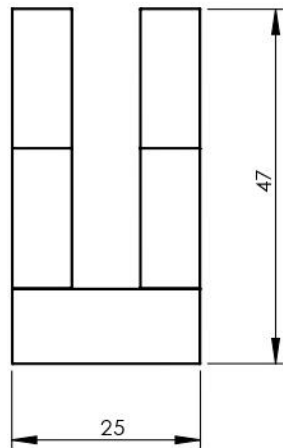
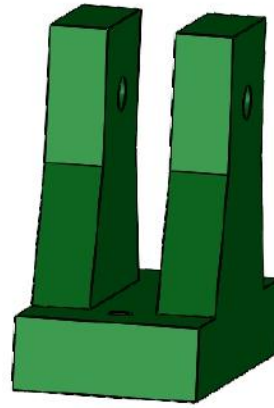
Tanggal : 29/10/2025

Digambar : YOV VANDRI

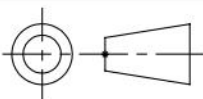
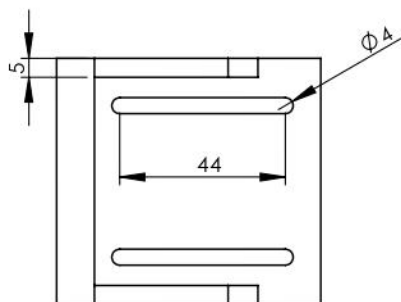
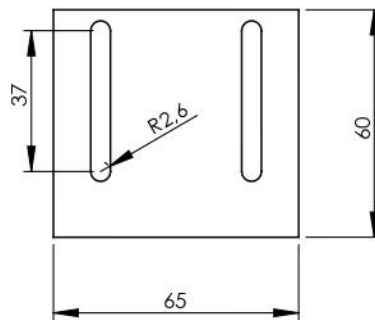
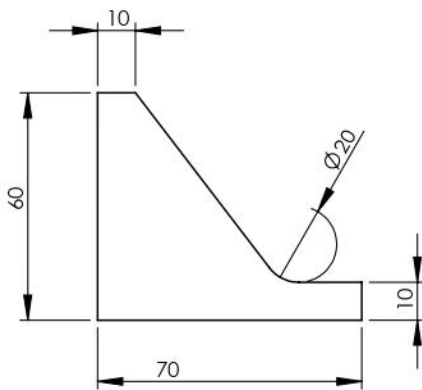
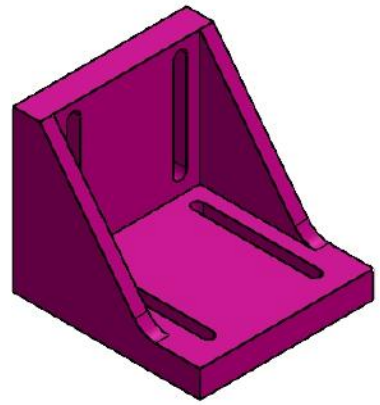
NIM : 213030060

Dilihat : DR. IR. RACHMAD HARTONO, M.T.

Keterangan:



	Skala : 1:1	Digambar: YOV VANDRI	Keterangan:
	Satuan : mm	NIM : 213030060	
	Tanggal : 29/10/2025	Dilihat : DR. IR. RACHMAD HARTONO, M.T.	
FT-UNPAS	MOUTING PULLEY X-AXIS		A4



Skala : 1:1

Satuan : mm

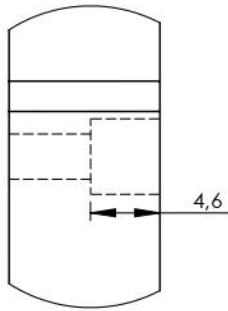
Tanggal : 29/10/2025

Digambar: YOY VANDRI

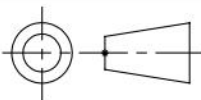
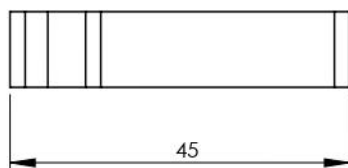
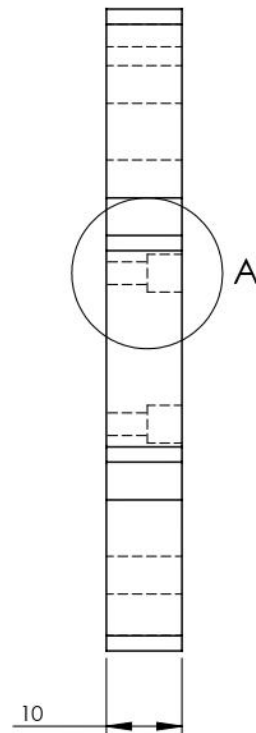
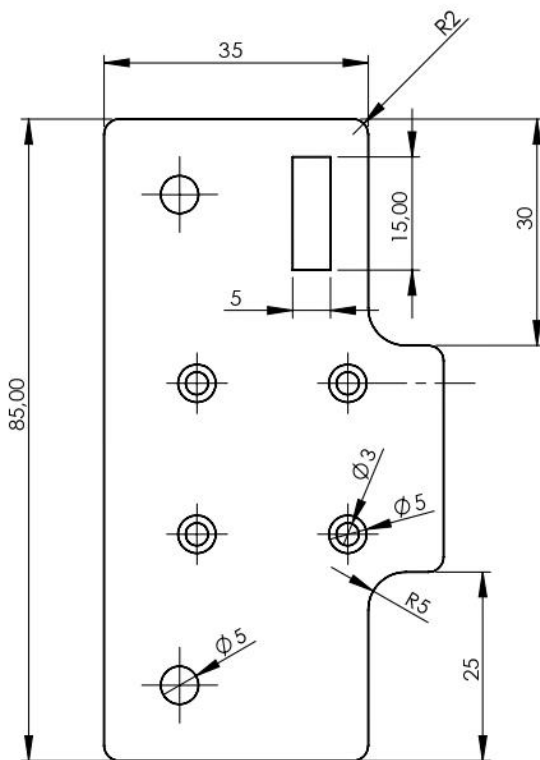
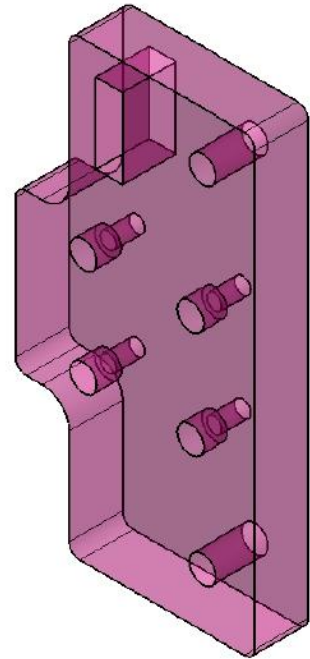
NIM : 213030060

Dilihat : DR. IR. RACHMAD HARTONO, M.T.

Keterangan:



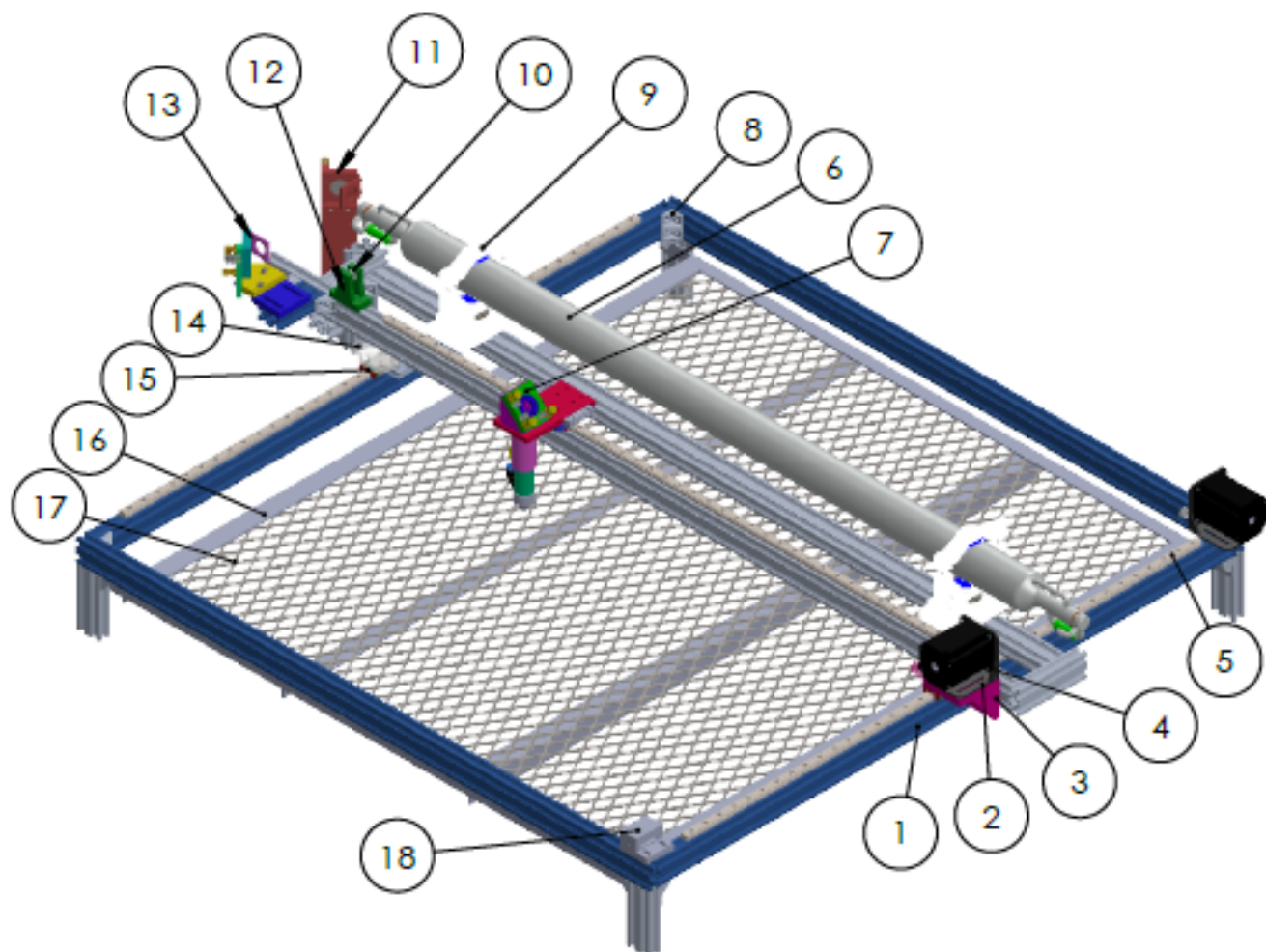
DETAIL A
SCALE 2 : 1



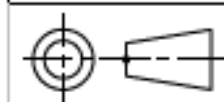
Skala : 1:1
Satuan : mm
Tanggal : 29/10/2025

Digambar: YOV VANDRI
NIM : 213030060
Dilihat : DR. IR. RACHMAD HARTONO, M.T.

keterangan:



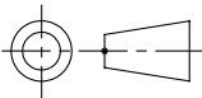
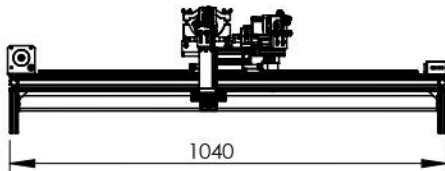
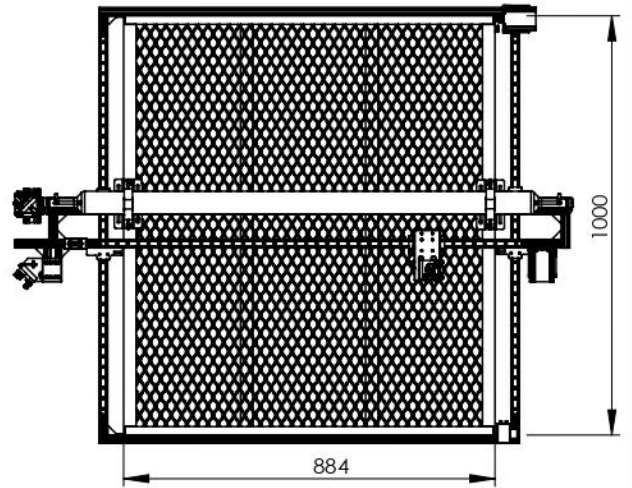
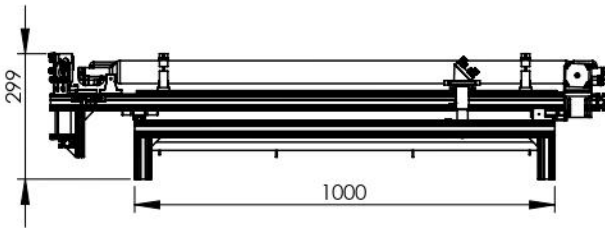
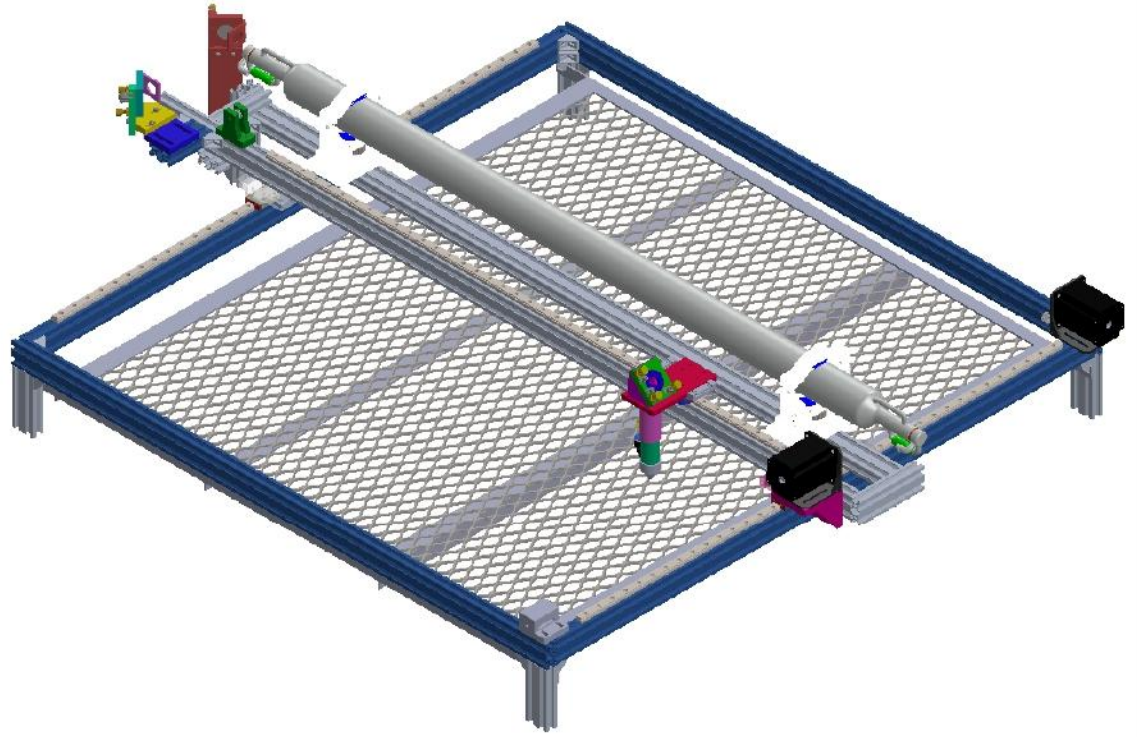
Parts List	
ITEM NO.	PART NUMBER
1	Aluminium Profil 4020
2	Bracket Motor Stepper Nema 23
3	Mouting 3D Printing Bracket Motor Stepper
4	Motor Stepper Nema 23
5	Linear Rail MGN 12
6	Head Laser CO ₂
7	Aluminium Profil 4020
8	Laser Tube CO ₂
9	Angle Bracket Corner 2020
10	Tube Holder Mouting CO ₂
11	Idler Pulley
12	miror Satu
13	Mouting Pully Axis X
14	Mirror Dua
15	Mouting Akrilik Linear Bearing
16	Baja Profil Siku
17	Expanded Metal
18	Mouting Pulley Axis Y



Skala : 1:18
 Satuan : mm
 Tanggal : 29/10/2025

Digambar: YOV VANDRI
 NIM : 213030060
 Ditihat : DR. IR. RACHMAD HARTONO, M.T.

Keterangan:



Skala : 1:18
 Satuan : mm
 Tanggal : 29/10/2025

Digambar: YOV VANDRI
 NIM : 213030060
 Dilihat : DR. IR. RACHMAD HARTONO, M.T.

Keterangan: