

RANCANG BANGUN MESIN *MILLING* CNC SEDERHANA

PROYEK AKHIR

Laporan akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan
Diploma III Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Abbi Azan *NIRM* 0012201

Sapta Marga *NIRM* 0012257

POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANGKA BELITUNG

TAHUN 2025

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN MESIN *MILLING* CNC SEDERHANA

Oleh:

Abbi Azan

NIRM 0012201

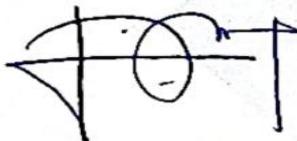
Sapta Marga

NIRM 0012257

Laporan akhir ini telah disetujui dan disahkan sebagai salah satu syarat kelulusan Program Dipolma III Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

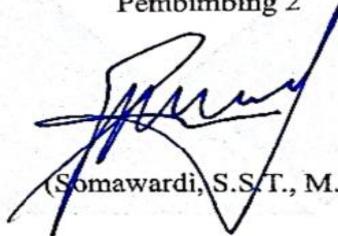
Menyetujui,

Pembimbing 1



(Angga Sateria, S.S.T., M.T.)

Pembimbing 2



(Somawardi, S.S.T., M.T.)

Penguji 1



(Ramli, M.Sc., Ph.D.)

Penguji 2



(Rodika, S.S.T., M.T.)

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini:

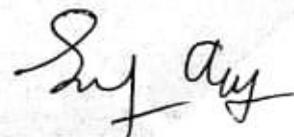
Nama Mahasiswa 1: Abbi Azan *NIRM* 0012201

Nama Mahasiswa 2: Sapta Marga *NIRM* 0012257

Dengan Judul: RANCANG BANGUN MESIN *MILLING* CNC SEDERHANA

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja kami sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini kami buat dengan sebenarnya dan bila ternyata dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, kami bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 05 Agustus 2025



Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

1. Abbi Azan
2. Sapta Marga

ABSTRAK

Perkembangan industri manufaktur di era 4.0 mendorong kebutuhan akan mesin CNC yang fungsional. Proyek akhir ini bertujuan untuk merancang dan membangun mesin milling CNC sederhana namun tetap presisi dan dapat digunakan untuk proses pemotongan. Komponen utama meliputi rangka berbahan alumunium profil, spindle, motor stepper, driver TB6560, dan mikrokontroler. Perakitan dilakukan secara bertahap, dimulai dari sistem mekanik hingga sistem kontrol mesin. Mesin diuji melalui uji fungsi dan uji kepresisian, mencakup pengukuran kesejajaran, ketegaklurusan, serta presisi pergerakan sumbu X, Y, dan Z. Pengujian kepresisian dilakukan menggunakan dial indikator dengan ketelitian 0,01 mm. hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin mampu menghasilkan pergerakan sumbu X, Y dan Z. Pada pengujian fungsi menunjukkan bahwa semua komponen utama seperti motor stepper, spindel, dan sistem kontrol dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya dan dilakukan perawatan preventif pada komponen komponen utama seperti linear guide rail, kopling dan lead screw untuk menjaga peforma jangka panjang mesin.

Kata kunci: mesin frais cnc sederhana, perancangan, uji fungsi, uji kepresisian, uji pemakanan, uji geometri, perawatan

ABSTRACT

The development of the manufacturing industry in the 4.0 era drives the need for functional CNC machines. This final project aims to design and build a simple yet precise CNC milling machine that can be used for cutting processes. The main components include a frame made of aluminum profiles, spindles, stepper motors, TB6560 drivers, and microcontrollers. Assembly is carried out in stages, starting from the mechanical system to the machine control system. The machine is tested through function tests and precision tests, including measuring parallelism, perpendicularity, and precision of the X, Y, and Z axes. Precision testing is carried out using a dial indicator with an accuracy of 0.01 mm. The test results show that the machine is capable of producing X, Y, and Z axis movements. Functional testing shows that all main components such as stepper motors, spindles, and control systems can operate according to their functions and preventive maintenance is carried out on main components such as linear guide rails, couplings, and lead screws to maintain the long-term performance of the machine.

Keywords: : simple cnc milling machine, design, function test, precision test, feed test, geometry test, maintenance

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat ridhonya penulis dapat menyelesaikan makalah proyek akhir ini tepat pada waktunya. Proyek akhir “RANCANG BANGUN MESIN *MILLING* CNC SEDERHANA” merupakan salah satu syarat untuk memenuhi persyaratan pendidikan Diploma-III di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Dalam menyelesaikan makalah proyek akhir ini, penulis mendapat bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak, baik secara dukungan maupun material. Untuk itu pada kesempatan ini dengan segala kerendahan dan ketulusan hati penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua serta keluarga yang selalu memberikan dukungan dengan penuh kasih sayang, serta doa-Nya yang tidak pernah putus dalam mendoakan anaknya untuk menjadi sukses.
2. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng, Ph.D., selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
3. Bapak Dr. Ilham Ary Wahyudie., M.T. selaku Ka. Jurusan Rekaya Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
4. Bapak Angga Sateria, S.S.T., M.T selaku pembimbing 1 yang selalu memberikan saran, masukan, dan bimbingan dalam menyelesaikan proyek akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih atas peran beliau sebagai Ko. Prodi Perawatan dan Perbaikan Mesin.
5. Bapak Somawardi, S.S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 2 yang selalu memberikan saran, masukan, dan bimbingan dalam menyelesaikan proyek akhir ini.
6. Seluruh dosen wali, staf pengajar dan karyawan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
7. Teman-teman dan adik-adik yang telah mendukung dan memberikan bantuan serta masukan dalam membantu Proyek Akhir ini.

8. Pihak-pihak lembaga yang telah memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Proyek Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, untuk penulis sangat mengharapkan semua jenis saran, kritik dan masukan yang bersifat membangun dalam perbaikan laporan ini. Penulis berharap laporan ini dibuat dapat berguna dan menambah wawasan bagi pembaca dan dapat dipergunakan sebagai mestinya. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Sungailiat, 05 Agustus 2025



Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
RANCANG BANGUN MESIN <i>MILLING</i> CNC SEDERHANA.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	14
1.1 Latar Belakang	14
1.2 Rumusan Masalah	15
1.3 Tujuan Proyek Akhir	15
BAB II DASAR TEORI.....	16
2.1 Pengertian Mesin <i>Milling</i> CNC.....	16
2.2 Karakteristik Mesin <i>Milling</i> CNC.....	16
2.2.1 Pemograman Mesin CNC	17
2.2.2 Metode Pemograman Mesin CNC	17
2.2.3 Kode-Kode Pemograman CNC.....	18
2.3 Komponen Mekanik Mesin.....	20
2.3.1 <i>Lead screw</i> /Poros ulir.....	20
2.3.2 Kopling.....	21
2.3.3 Bearing	21

2.3.4 Alumunium Profil	22
2.3.5 Linear Guide Rail.....	22
2.4 Komponen Elektronik.....	23
2.4.1 Motor <i>Stepper</i>	23
2.4.2 Prinsip Kerja Motor <i>Stepper</i>	24
2.4.3 3D Printer <i>Filament</i>	25
2.4.4 Driver Motor <i>Stepper</i>	25
BAB III METODE PELAKSANAAN	27
3.1 Identifikasi Masalah	28
3.2 Pengumpulan Data	28
3.3 Desain Alat	28
3.4 Pembuatan Komponen	29
3.5 Perakitan Alat	29
3.5.1 Proses Perakitan Sistem Mekanik	29
3.5.2 Proses Perakitan Elektronik Mesin	30
3.6 Pengujian.....	30
3.6.1 Pengujian Fungsi.....	30
3.6.2 Pengujian Presisi	31
3.6.3 Pengujian Geometri.....	31
3.6.4 Pengujian Proses Pemakanan	31
3.7 Perawatan	31
3.8 Kesimpulan	31
BAB IV PEMBAHASAN.....	33
4.1 Pengumpulan Data.....	33
4.2 Desain Alat.....	33
4.3 Pembuatan Komponen	34
4.4 Perakitan.....	34
4.4.1 Perakitan Sistem Mekanik	40
4.4.2 Perakitan Sistem Control Elektronik.....	40
4.5 Pengujian Fungsi.....	42

4.6 Pengujian Presisi	43
4.6 Pengujian Geometri.....	44
4.7 Pengujian Proses Pemakanan.....	46
4.8 Perawatan	46
4.9 Biaya pembuatan Mesin.....	48
BAB V PENUTUP.....	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN.....	57



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 <i>Lead Screw</i>	21
Gambar 2.2 <i>Flexible Coupling</i> dan <i>Flexible Shaft Coupling</i>	21
Gambar 2. 3 <i>Bearing</i>	22
Gambar2. 4 Alumunium Profil.....	22
Gambar 2. 5 <i>Linear Guide Rail</i>	23
Gambar 2. 6 Motor <i>Stepper</i>	24
Gambar 2. 7 Prinsip Kerja Motor <i>Stepper</i>	25
Gambar 2. 8 3D Printer <i>Filament</i>	25
Gambar 2. 9 <i>Driver Motor Stepper TB6560</i>	26
Gambar 3. 1 Diagram Alir.....	27
Gambar 4. 1 Desain Alat	33
Gambar 4. 2 Pemotongan Alumunium Profil.....	35
Gambar 4. 3 Pengeboran Pada Alumunium Profil	36
Gambar 4. 4 Pembuatan Dudukan <i>Bearing</i>	37
Gambar 4. 5 Motor <i>Stepper</i>	39
Gambar 4. 6 Perakitan <i>Power Supply</i> dan <i>Driver Motor Stepper</i>	40
Gambar 4. 7 Perakitan Mekanik Mesin	40
Gambar 4. 8 Wiring Diagram Listrik	42
Gambar 4. 9 Hasil Pengujian Secara Manual.....	46

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4. 1 Pengujian Fungsi	42
Tabel 4. 2 Pengujian Pergerakan Sumbu X, Y dan Z.....	43
Tabel 4. 3 Pengujian Geometri.....	44
Tabel 4. 4 Perawatan Preventif.....	47
Tabel 4. 5 Daftar Harga Barang	48



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup.....	53
Lampiran 2 Gambar Perakitan Mesin	56



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam era industri 4.0, teknologi manufaktur mengalami perkembangan pesat, terutama dalam bidang permesinan presisi. Salah satu teknologi yang memiliki peran penting adalah *Computer Numerical Control* (CNC), yang memungkinkan proses permesinan dilakukan secara otomatis dengan tingkat akurasi tinggi. Zheng et al., (2021). Mesin *milling* CNC merupakan salah satu jenis mesin CNC yang digunakan untuk berbagai aplikasi pemotongan dan pembentukan material. Meskipun mesin *milling* CNC telah banyak digunakan dalam industri manufaktur, harga mesin yang tersedia di pasaran masih relatif tinggi, sehingga tidak semua kalangan, terutama usaha kecil dan menengah (UKM) serta institusi pendidikan, dapat mengakses teknologi ini dengan mudah. Oleh karena itu, diperlukan rancang bangun mesin *milling* CNC sederhana yang lebih ekonomis namun tetap memiliki kinerja yang baik untuk keperluan pembelajaran dan produksi skala kecil. Agrisa (2020).

Rancang bangun mesin *milling* CNC sederhana bertujuan untuk memberikan solusi bagi pengguna yang membutuhkan mesin dengan biaya lebih terjangkau tanpa mengorbankan aspek fungsionalitas. Dengan menggunakan komponen yang mudah didapat dan teknologi kontrol berbasis *mikrokontroler* atau komputer, diharapkan mesin ini dapat menjadi alternatif yang efektif bagi industri kecil dan sektor pendidikan. Pengembangan mesin *milling* CNC sederhana juga sejalan dengan upaya meningkatkan keterampilan sumber daya manusia dalam bidang teknologi manufaktur. Ayala Chauvin et al (2020). Dengan adanya mesin ini, pengguna dapat mempelajari prinsip kerja mesin CNC, pemrograman G-code, serta teknik permesinan yang lebih efisien. Selain itu, mesin ini dapat digunakan sebagai sarana penelitian dan inovasi dalam pengembangan teknologi manufaktur berbasis otomasi. Proyek akhir ini difokuskan pada perancangan dan pembuatan mesin *milling* CNC sederhana yang ekonomis, fungsional, dan dapat diterapkan

dalam berbagai bidang, termasuk pendidikan, penelitian, dan industri kecil. Boral (2019).

Pada proyek akhir ini, penulis akan merancang, membuat dan merakit mesin CNC *milling* sederhana. Mesin yang dirancang mempunyai bagian-bagian utama yaitu rangka mesin, motor penggerak, *spindle*, *lead screw*, sumbu X,Y dan Z, panel *control*, alumunium profil, *linear guide rail*, dan *power supply*.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas diketahui perumusan masalah dari rancang bangun mesin CNC *milling* sederhana adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merakit sistem mekanik untuk mesin CNC sederhana.
2. Bagaimana mengintegrasikan sistem kontrol untuk mengatur pergerakan mesin dengan presisi.
3. Bagaimana melakukan pengujian sistem mekanik mesin dan pengujian pergerakan mesin CNC.

1.3 Tujuan Proyek Akhir

Tujuan proyek akhir ini sebagai berikut:

1. Merakit dan membangun mesin CNC *milling* sederhana yang dapat diproduksi dengan biaya rendah namun tetap memiliki kualitas dan presisi yang memadai untuk berbagai aplikasi pemotongan dan pengefraisan.
2. Merakit sistem *control* dan mekanik untuk mengatur pergerakan mesin yang presisi.
3. Melakukan pengujian sistem mekanik dan pengujian pergerakan mesin CNC.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Pengertian Mesin *Milling* CNC

Mesin *milling* CNC merupakan untuk memotong atau membentuk benda kerja menggunakan alat potong berputar (*milling cutter*), di mana proses pergerakan sumbu dan pengoperasian mesin dikendalikan oleh sistem komputer melalui kode-kode numerik. Mulyadi, M., dkk. (2019). Mesin ini merupakan pengembangan dari mesin *milling* manual yang lebih presisi, efisien, dan konsisten dalam menghasilkan produk. Mesin CNC sangat cocok digunakan dalam produksi massal karena memungkinkan pengulangan proses dengan hasil yang konsisten serta memiliki kemampuan menghasilkan bentuk yang kompleks dan presisi tinggi. Hua et al (2011).

2.2 Karakteristik Mesin *Milling* CNC

Beberapa karakteristik utama mesin *milling* CNC sederhana antara lain:

- Presisi tinggi: Kemampuan menghasilkan produk dengan dimensi yang akurat.
- Repetisi stabil: Mampu melakukan pekerjaan berulang dengan hasil yang seragam.
- Otomatisasi: Proses produksi dilakukan tanpa perlu intervensi manusia secara langsung selama proses kerja berlangsung.
- Fleksibel: Mampu mengerjakan berbagai bentuk benda kerja dengan hanya mengganti program CNC.
- Efisiensi waktu dan tenaga: Proses kerja lebih cepat dan meminimalkan kesalahan manusia.
- Kontrol multi-sumbu: Dapat menggerakkan alat potong atau benda kerja pada sumbu X, Y, dan Z.

2.2.1 Pemograman Mesin CNC

Pemograman mesin CNC adalah proses memberikan perintah kepada mesin dengan menggunakan bahasa pemograman khusus yang terdiri atas kode-kode numerik. Tujuan dari pemograman ini adalah untuk mengontrol pergerakan alat potong, pengaturan kecepatan, arah pemotongan, serta operasi mesin lainnya. Bahasa pemograman yang digunakan pada mesin CNC umumnya adalah G-code (Geometric Code) dan M-code (Machine Code). Fatriyana (2020)

2.2.2 Metode Pemograman Mesin CNC

Dalam pemograman CNC, terdapat dua pendekatan umum yang digunakan, yaitu metode absolut dan metode inkremental. Metode pemograman absolut menggunakan satu titik referensi tetap, yaitu titik nol benda kerja (*workpiece zero*). Setiap titik koordinat dalam program ditentukan secara langsung berdasarkan titik acuan ini. Keunggulan metode ini terletak pada kemudahan pelacakan kesalahan dan konsistensi posisi, karena seluruh gerakan merujuk pada satu sistem koordinat tetap. Dalam praktiknya, metode ini diaktifkan menggunakan kode G90 dalam program G-code. Sedangkan metode pemograman inkremental menggunakan posisi terakhir sebagai acuan untuk titik selanjutnya. Dengan kata lain, setiap posisi baru ditentukan relatif terhadap posisi sebelumnya, bukan dari titik nol. Pendekatan ini sangat berguna untuk proses dengan pola gerakan berulang, seperti pengeboran bertahap atau pemotongan zig-zag. Namun, metode ini memiliki kelemahan utama yaitu potensi akumulasi kesalahan jika posisi awal tidak tepat. Mode ini diaktifkan dengan kode G91 dalam sistem G-code. Septiana & Wibowo (2021). Pemahaman dan penerapan metode pemograman absolut maupun inkremental sangat penting dalam menjamin keakuratan hasil pemesinan. Berdasarkan temuan Buelow & Shivappa (2019), kesalahan penggunaan mode pemograman ini dapat menyebabkan deviasi yang signifikan, terutama pada komponen kompleks yang melibatkan banyak sumbu.

2.2.3 Kode-Kode Pemrograman CNC

Bahasa pemrograman *Numerical Control* (NC) adalah program yang terbaca oleh mesin CNC atau yang biasa di kenal dengan G-code. Namun dalam kenyataannya, G-code ini hanya sebagian dari bahasa pemrograman NC, yang mengendalikan NC dan peralatan mesin CNC. Kontrol numerik istilah diciptakan di *laboratorium Servomechanisms* MIT, dan beberapa versi dari NC itu masih dikembangkan secara mandiri oleh pabrik mesin CNC. Versi standar utama yang digunakan di Amerika Serikat telah diselesaikan oleh *Electronic Industries Alliance* di awal 1960-an. Revisi terakhir yang telah disetujui pada bulan februari 1980 sebagai RS274D. Di eropa, standar DIN 66.025 / ISO 6.983 sering digunakan sebagai gantinya. Bahasa kode ini berfungsi sebagai sarana komunikasi antara mesin dengan pemakainya, yakni memberikan informasi data kepada mesin yang harus dipahaminya. Berikut merupakan macam - macam bahasa kode G dan M serta kegunaannya. Yang, J., dkk. (2015). Secara umum, kode-kode pemrograman CNC terbagi menjadi dua kelompok utama:

a) G-code (*Geometric Code*)

Fungsi Utama:

G-Code bertugas mengatur *geometric* dan pergerakan mesin. Dengan G-code, operator dapat menetapkan lintasan, kecepatan, dan pola gerakan alat potong. Misalnya, instruksi untuk melakukan pergerakan *linear*, pergerakan melingkar, serta penentuan koordinat kerja baik secara *absolute* maupun relatif semuanya diatur melalui G-code. Pentingnya G-code:

Karena mesin CNC bergerak dalam sumbu koordinat (biasanya X, Y, dan Z), G-code memberikan cara yang tepat untuk menentukan posisi alat potong di ruang kerja. Dengan penulisan G-code yang akurat, pergerakan mesin menjadi presisi dan konsisten, sehingga bagian yang dihasilkan memiliki toleransi yang rapat.

b) M-code (*Machine Code*)

Fungsi M-Code:

M-code digunakan untuk mengendalikan fungsi-fungsi pendukung dan operasional mesin selain pergerakan geometris. Fungsi ini meliputi pengaktifan

atau pematian *spindle*, pendingin (*coolant*), pergantian alat, dan lainnya. M-code membantu memastikan mesin beroperasi sesuai dengan kondisi yang diharapkan pada fase-fase tertentu dalam proses pemesinan. Meskipun M-code tidak secara langsung mengendalikan lintasan pemotongan, fungsinya sangat penting untuk integritas proses pemotongan. Misalnya, pengaktifan *spindle* atau pendingin pada waktu yang tepat dapat mempengaruhi kualitas hasil akhir dan efisiensi pemesinan.

c) Kode tambahan lainnya

Selain G-code dan M-code, ada juga kode-kode lain yang mendukung operasi pemesinan, seperti:

- F (*Feedrate*): Mengatur kecepatan pemakanan alat potong ke dalam benda kerja, yang biasanya dihitung dalam satuan mm/menit atau inci/menit. Pemilihan *feedrate* yang tepat sangat penting untuk menghindari kerusakan pada alat potong dan benda kerja.
- S (*Spindle Speed*): Menentukan kecepatan putaran *spindle* dalam satuan RPM (*revolutions per minute*). Kecepatan *spindle* mempengaruhi kualitas pemotongan dan harus disesuaikan dengan material benda kerja serta jenis alat potong.
- T (*Tool Selection*): Digunakan untuk menentukan nomor alat potong yang digunakan dalam proses pemesinan. Program CNC yang kompleks mungkin melibatkan pergantian alat secara otomatis sehingga penggunaan kode T menjadi penting dalam mengatur urutan alat.

Tabel kode-kode CNC dapat dilihat pada Tabel 1.1 dan Tabel 1.2 berikut.

Tabel 1. 1 Kode Pemograman CNC

Nama Kode	Fungsi Kode
G00	Gerakan cepat tanpa pemakanan benda kerja (bergerak lurus)
G01	Gerakan memotong/pemakanan benda kerja (bergerak lurus)
G02	Gerakan memotong melingkar searah jarum jam
G03	Gerakan memotong melingkar berlawanan arah jarum jam
G33	Menyayat beberapa jenis ulir dengan kisar konstan
G40	Membatalkan kompensasi radius atau tanpa kompensasi
G41	Kompensasi radius kanan

G42	Perintah kompetensi radius kiri
G54	Bearti titik nol benda kerja diaktifkan
G90	Pemograman absolute
G91	Pemograman inkremental
G96	Mengatur kecepatan potong

Tabel 1. 2 Kode Pemograman M-Code

Nama Kode	Fungsi kode
M02	Program berakhir
M03	Menghidupkan poros mesin (<i>spindle on</i>) berputar berlawanan arah jarum jam (CCW)
M04	<i>Spindle on</i> dengan putaran berlawanan jarum jam
M05	Mematikan poros mesin (<i>spindel on</i>)
M08	<i>Coolant on</i>
M09	<i>Coolant off</i>
M30	Langkah terakhir (<i>Program end</i>)

2.3 Komponen Mekanik Mesin

2.3.1 *Lead screw*/Poros ulir

Lead screw (Dalam bahasa Indonesia disebut juga ulir penggerak) adalah komponen mekanik berbentuk batang ulir yang berfungsi untuk mengubah gerakan putar (rotasi) menjadi gerakan lurus (translasi). Fungsi utamanya adalah untuk mengubah gerakan putar menjadi gerakan lurus secara presisi. Selain itu, *lead screw* berfungsi untuk menggerakkan bagian-bagian mesin secara *linier*, seperti meja kerja, kepala pemotong, atau lengan robot, dalam sistem yang membutuhkan kontrol posisi yang akurat. Karena memiliki gaya gesek yang tinggi antara ulir dan mur, *lead screw* juga mampu menahan beban tanpa mengalami gerakan mundur (*back drive*), sehingga cocok untuk aplikasi pengangkatan atau penahan beban. Dalam banyak sistem otomasi dan robotika, *lead screw* juga digunakan sebagai bagian dari aktuator *linier* untuk menghasilkan gerakan maju-mundur secara otomatis. Selain itu, *lead screw* sering dijumpai dalam alat ukur presisi seperti mikrometer, karena mampu memberikan gerakan kecil yang halus dan terkontrol. Kasim, B., dkk. (2025). *Lead screw* dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1 *Lead Screw*

2.3.2 Kopling

Kopling adalah suatu mekanisme yang dirancang mampu menghubungkan dan melepaskan memutuskan perpindahan tenaga dari suatu benda yang berputar ke benda yang lainnya. Kopling *flexible* pada mesin *milling* CNC sederhana adalah komponen mekanik yang digunakan untuk menghubungkan poros motor (biasanya *stepper* motor atau servo motor) dengan poros *lead screw* atau *ball screw*, yang berfungsi untuk menggerakkan meja mesin secara presisi. Ramdani, R., dkk. (2024). Kopling ini disebut "*Flexible*" karena dapat menyesuaikan diri terhadap ketidaksejajaran kecil antara poros motor dan poros *screw*, baik dalam arah sudut (angular), samping (radial), maupun panjang (aksial). Fleksibilitas ini penting agar gerakan motor dapat ditransfer dengan lancar tanpa menyebabkan kerusakan atau getaran berlebih pada sistem. kopling dilihat pada Gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2.2 *Flexible Coupling* dan *Flexible Shaft Coupling*

2.3.3 Bearing

Bearing (atau bantalan) adalah komponen mekanik yang berfungsi untuk menopang poros dan memungkinkan gerakan rotasi atau *linier* dengan gesekan seminimal mungkin. Dalam konteks mesin *milling* CNC sederhana, *bearing* digunakan untuk menopang dan menstabilkan pergerakan poros seperti *lead screw*,

serta mendukung koneksi dengan kopleing *flexible*. Dan yang mana *bearing* ini digunakan dalam mesin *milling* CNC sederhana sebagai tumpuan *lead screw* atau poros ulir untuk berputar. Zhao, C., dkk. (2021). *Bearing* dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2. 3 *Bearing*

2.3.4 Alumunium Profil

Alumunium profil adalah paduan alumunium yang dibentuk melalui proses ekstrusi untuk menghasilkan bentukan tertentu. Alumunium profil sering digunakan sebagai bagian dari sistem modular. Dan dalam pembuatan mesin *milling* CNC sederhana. Mashinton, A., dkk. (2021). Alumunium profil digunakan untuk kerangka utama dan juga sebagai dudukan sumbu (Y,X dan Z). Selain itu juga sebagai tempat menempel *linear guide rail*. Alumunium profil dilihat pada Gambar 2.4 berikut ini.



Gambar2. 4 Alumunium Profil

2.3.5 Linear Guide Rail

Linear guide rail atau rel *linear* adalah komponen mekanik yang berfungsi sebagai jalur pandu untuk gerakan *linier* yang presisi dan halus. Dalam mesin *milling* CNC sederhana, *linear guide rail* digunakan untuk memastikan bahwa

gerakan meja kerja atau kepala spindle tetap lurus, stabil, dan minim gesekan. Kurniawan, I. D., dkk. (2020). Dan selain itu, fungsi dari *linear guide rail* adalah untuk sebagai media peluncur yang menggunakan bola baja bersirkulasi sebagai komponen penunpu utamanya. dan dalam pembuatan mesin *milling* CNC sederhana. *Linear guide rail* digunakan untuk sebagai jalur atau jalan pergerakan meja atau *bed* ke depan dan ke belakang. *Linear guide rail* dilihat pada Gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2. 5 *Linear Guide Rail*

2.4 Komponen Elektronik

2.4.1 Motor *Stepper*

Motor *stepper* adalah perangkat elektromekanis yang berfungsi mengubah sinyal listrik digital menjadi gerakan mekanis berupa rotasi dengan sudut tertentu secara bertahap (*step-by-step*). Perangkat ini sangat umum digunakan dalam sistem otomasi dan kontrol gerak karena mampu menghasilkan pergerakan yang presisi tanpa memerlukan sistem umpan balik (*closed-loop*). Pada dasarnya, motor *stepper* memiliki konstruksi yang sama dengan motor listrik pada umumnya, yaitu terdiri dari rotor dan stator. Namun, motor *stepper* tidak memiliki sikat karena putarannya dikontrol dengan memberikan pulsa diskrit pada kumparan motor. Stator pada motor DC terbuat dari logam yang dikelilingi oleh belitan. Belitan ini tidak dililitkan pada seluruh bagian stator, tetapi pada gigi stator secara individu, sehingga mirip dengan motor *brushless*. Belitan ini terhubung pada input dan diberikan pulsa digital. Sementara itu, rotor pada motor *stepper* terbuat dari besi lunak atau magnet. Rotor akan merespon medan magnet pada belitan stator dan

bergerak sesuai dengan sudut stepnya. Motor *stepper* dapat dikontrol posisinya tanpa mekanisme umpan balik (*feedback*). Widodo, D. S., dkk. (2019). Motor *stepper* dilihat pada Gambar 2.6 berikut ini.



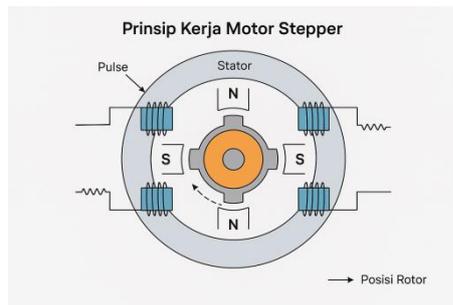
Gambar 2. 6 Motor *Stepper*

2.4.2 Prinsip Kerja Motor *Stepper*

Motor *stepper* bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik, di mana medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir melalui kumparan-kumparan (*coil*) pada stator akan menarik rotor untuk bergerak dalam langkah-langkah tertentu. Gerakan ini tidak berlangsung secara kontinu, melainkan secara bertahap (*step-by-step*), sesuai dengan urutan pulsa listrik yang dikirimkan ke motor. Pramono, M., dkk. (2017). Di dalam motor *stepper*, terdapat dua komponen utama, yaitu:

- Stator, yang berisi kumparan-kumparan elektromagnetik.
- Rotor, yang merupakan bagian berputar dan biasanya berupa magnet permanen atau material feromagnetik bergigi.

Ketika arus listrik dialirkan secara bergantian ke kumparan stator dalam urutan tertentu, medan magnet yang dihasilkan akan berubah-ubah posisinya. Rotor yang berada di dalam medan tersebut akan selalu mencoba untuk sejajar dengan medan magnet stator. Oleh karena itu, rotor akan bergerak mengikuti perubahan medan magnet tersebut dalam sudut- sudut tertentu yang disebut sebagai "langkah" (*step*). Prinsip kerja motor *stepper* dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut ini.



Gambar 2. 7 Prinsip Kerja Motor *Stepper*

2.4.3 3D Printer *Filament*

3D Printer *Filament* adalah bahan baku utama yang digunakan dalam proses pencetakan tiga dimensi (3D printing), khususnya untuk printer jenis FDM (*Fused Deposition Modeling*) atau FFF (*Fused Filament Fabrication*). 3D printer *filament* merupakan termoplastik berbentuk kawat panjang dan tipis (dengan diameter umum 1,75 mm atau 2,85 mm) yang digulung dalam *spool* (gulungan). Saat digunakan, *filament* ditarik oleh *extruder* ke dalam *hotend* printer, dilelehkan, dan disusun sesuai desain digital (CAD file atau STL) menjadi bentuk nyata. Ngo, T. D., dkk. (2018). 3D Printer *Filament* dapat dilihat pada Gambar 2.8 berikut ini



Gambar 2. 8 3D Printer *Filament*

2.4.4 Driver Motor Stepper

Driver motor *stepper* digunakan untuk mengatur gerakan motor *stepper* agar dapat berputar secara teratur dan akurat meskipun tanpa sistem umpan balik (*non-feedback*). Salah satu jenis *driver* yang umum digunakan adalah TB6560, yang berfungsi sebagai pengendali utama dalam mengatur arah dan langkah motor *stepper*. *Driver* TB6560 bekerja dengan memberikan sinyal ke motor *stepper*.

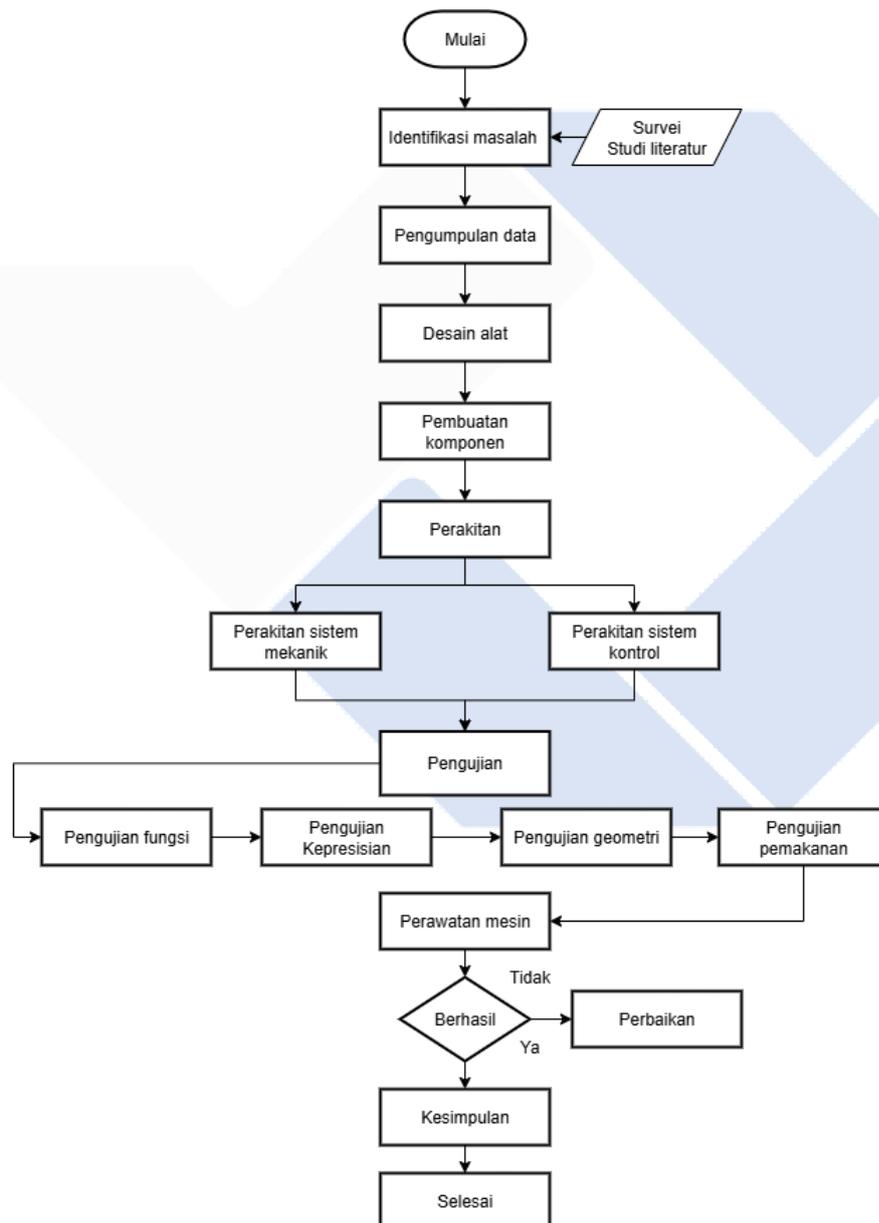
Berdasarkan input dari mikrokontroler seperti *ardunio*, sehingga motor dapat bergerak sesuai urutan langkah (*step*) yang ditentukan. Dengan hanya menggunakan dua sinyal input utama *step* untuk mengatur jumlah langkah dan *DIR* (*direction*) untuk mengatur arah putaran. *Driver* ini mampu menjalankan motor *stepper* dengan presisi tinggi. Rotar R, dkk. (2024). *Driver* ini dirancang untuk mengendalikan motor *stepper* tipe bipolar dan mendukung berbagai mode *microstepping*, seperti *full step*, *half step*, *quarter step*, dan *eighth step*. Mode ini memungkinkan motor penggerak lebih halus dengan pembagian langkah yang lebih kecil. *Driver* motor *stepper* dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut.



Gambar 2. 9 *Driver* Motor *Stepper* TB6560

BAB III METODE PELAKSANAAN

Pelaksanaan dari proyek akhir yang berjudul “Rancang Bangun Mesin *Milling* CNC Sederhana” diselesaikan melalui metode yang mengikuti tahapan proses dan alur kerja yang di tentukan dalam diagram alir. Diagram dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Diagram Alir

3.1 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah adalah proses awal dalam sebuah proyek atau penelitian yang bertujuan untuk mengenali, memahami, dan merumuskan permasalahan yang akan diselesaikan. Dengan mengidentifikasi masalah secara jelas, dalam perancangan, pengembangan, atau penelitian bisa lebih terarah dan efektif.

3.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan informasi penting yang mendukung proses perancangan alat. Data dapat diperoleh melalui sumber primer maupun sekunder. Data yang terkumpul kemudian dianalisis agar dapat menghasilkan konsep desain yang tepat dan sesuai kebutuhan.

Dalam pengumpulan data tersebut, berikut metode yang digunakan untuk memperoleh informasi yang relevan dan mendukung proses perancangan alat.

- Survei merupakan metode pengumpulan data secara langsung dari sumber yang relevan, seperti pengguna, ahli, atau lingkungan sekitar alat yang akan dibuat. Survei ini membantu mendapatkan gambaran nyata tentang kebutuhan dan kendala yang dihadapi.
- Survei literatur dilakukan dengan menelusuri berbagai dokumen tertulis, seperti buku, jurnal, artikel, dan laporan yang relevan dengan topik perancangan. Survei ini bertujuan untuk memperoleh informasi teoritis dan data pendukung yang terpercaya sebagai dasar dalam pengambilan keputusan desain.

3.3 Desain Alat

Tahapan ini merupakan proses mendesain mesin *milling* CNC sederhana. Desain dilakukan berdasarkan spesifikasi yang telah ditentukan, dengan tujuan agar setiap komponen yang dibuat dan dirakit nantinya sesuai dengan rancangan awal. Tahap ini sangat penting sebagai dasar acuan dalam proses fabrikasi dan perakitan alat, guna meminimalisir kesalahan dan memastikan bahwa hasil akhir sesuai dengan fungsi dan performa yang diharapkan.

3.4 Pembuatan Komponen

Setelah proses awal seperti dilakukan pemesinan dengan mengacu pada rancangan yang telah dianalisis sebelumnya. Tujuannya agar proses pembuatan berjalan sesuai arah dan ukuran yang telah ditentukan. Dalam tahap ini, digunakan alat seperti mesin bubut dan bor tangan untuk membentuk komponen sesuai spesifikasi teknis.

3.5 Perakitan Alat

Dalam tahap ini, digunakan berbagai jenis peralatan pendukung seperti mesin *frais*, gerinda, alat ukur, serta perlengkapan lain yang diperlukan dalam perakitan komponen. Seluruh proses perakitan dilakukan secara sistematis, dimulai dari perakitan tiap bagian berdasarkan urutan dan fungsinya masing-masing. Tujuan dari proses ini adalah agar seluruh bagian mesin dapat terpasang dengan tepat dan bekerja secara maksimal sesuai dengan desain fungsional yang telah dirancang sebelumnya. Dengan perakitan yang terstruktur, diharapkan mesin *milling* CNC sederhana ini mampu beroperasi secara efektif dan memenuhi kebutuhan kerja yang telah ditentukan.

3.5.1 Proses Perakitan Sistem Mekanik

Perakitan sistem mekanik merupakan bagian dari tahapan ketiga dalam pembangunan mesin. Setelah seluruh komponen selesai dibuat, langkah selanjutnya adalah menyusun dan memasang bagian-bagian mekanik agar membentuk sistem yang berfungsi dengan baik sesuai desain. Komponen yang dirakit pada tahap ini meliputi *lead screw* atau poros ulir, kopling, *linear guide rail*, alumunium profil, dan *bearing*. Setiap komponen dirakit dan dipasangkan dengan komponen lainnya secara tepat. *Bearing* dipasang padaudukan untuk menopang poros ulir agar tetap stabil saat berputar. Kopling dihubungkan antara motor *stepper* dan *lead screw* untuk mentransmisikan gerakan putar. *Linear guide rail* dipasangkan pada alumunium profil agar dapat menghasilkan gerakan *linear* yang halus dan akurat. Selanjutnya, kedua batang alumunium profil dirakit sebagai rangka utama yang menjadi penopang seluruh sistem mekanik. Seluruh proses ini dilakukan dengan

hati-hati dan presisi untuk memastikan struktur kokoh dan sistem gerak bekerja sesuai dengan rancangan.

3.5.2 Proses Perakitan Elektronik Mesin

Pada tahap ini, dilakukan proses perakitan sistem elektronik mesin setelah sebelumnya menyelesaikan perakitan mekanik. Tahap ini mencakup pemasangan berbagai komponen elektronik seperti *arduino mega*, *power supply*, *driver motor stepper*, adaptor, dan motor *stepper*. Setiap komponen dihubungkan satu sama lain, dimulai dari *arduino mega* yang dikoneksikan dengan kontrol *ramps 1.4*. *Ramps* tersebut lalu disambungkan dengan *driver motor stepper* yang telah terpasang pada motor *stepper*. Selanjutnya, *ramps 1.4* juga dihubungkan ke *power supply* yang berfungsi mengatur tegangan listrik menuju motor *stepper*. Dengan demikian, terbentuklah rangkaian elektronik mesin secara keseluruhan untuk mendukung kinerja mesin *milling* CNC sederhana.

3.6 Pengujian

Pengujian merupakan tahapan evaluasi yang dilakukan secara sistematis untuk memastikan bahwa seluruh komponen dan sistem mesin bekerja sesuai dengan fungsi yang dirancang. Dalam proses ini, dilakukan serangkaian pemeriksaan dan pengukuran untuk menilai kinerja, akurasi dan kestabilan mesin. Tujuan dari pengujian untuk memastikan bahwa mesin *milling* CNC sederhana dapat beroperasi dengan baik dan presisi.

3.6.1 Pengujian Fungsi

Pengujian fungsi merupakan proses yang dilakukan untuk memastikan bahwa setiap komponen dalam sistem mesin *milling* CNC sederhana bekerja sesuai dengan fungsinya. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja awal mesin, termasuk pergerakan pada sumbu X, Y dan Z, *spindel*, serta sistem kontrol yang digunakan. Proses pengujian dimulai setelah seluruh sistem mekanik dan elektronik telah dirakit. Komponen yang diuji meliputi motor *stepper* pada tiap sumbu, *spindel*, *limit switch*, dan sistem kontrol berbasis mikrokontroler.

3.6.2 Pengujian Presisi

Pengujian presisi merupakan tahapan penting untuk memastikan bahwa mesin *milling* CNC sederhana mampu menghasilkan pergerakan yang akurat sesuai dengan perintah. Tujuan dari pengujian ini adalah mengevaluasi seberapa tepat pergerakan sumbu X, Y dan Z terhadap jarak gerak yang diinginkan, serta mengetahui tingkat deviasi atau penyimpangan geraknya

3.6.3 Pengujian Geometri

Pengujian geometri adalah proses untuk mengevaluasi kesesuaian struktur dan arah gerak mesin dengan standar kelurusan, kesikuan, dan kesejajaran. Tujuan dari pengujian ini adalah memastikan bahwa setiap sumbu X, Y dan Z bergerak dengan tepat tanpa penyimpangan arah yang berlebihan. Pengujian dilakukan menggunakan alat ukur seperti *dial indicator*.

3.6.4 Pengujian Proses Pemakanan

Uji pemakanan adalah tahap untuk melihat kemampuan mesin dalam melakukan pemotongan pada benda kerja. Tujuannya adalah mengevaluasi akurasi hasil potong, kestabilan gerak, dan kekuatan struktur saat proses berjalan.

3.7 Perawatan

Perawatan adalah kegiatan rutin yang dilakukan untuk menjaga kondisi dan kinerja mesin tetap optimal. Perawatan meliputi pelumasan, pembersihan dari kotor dan debu, serta pemeriksaan visual terhadap kerusakan dan keausan. Tujuannya adalah mencegah kerusakan dini dan memperpanjang umur pakai mesin.

3.8 Kesimpulan

Kesimpulan merupakan bagian akhir dari laporan yang berisi ringkasan atau inti dari keseluruhan proses yang telah dilakukan. Bagian ini disusun berdasarkan hasil analisis, pembahasan, serta data yang telah dijelaskan pada bab-bab sebelumnya. Kesimpulan mencerminkan pencapaian tujuan dari penelitian atau perancangan, dan menjadi dasar untuk menilai keberhasilan alat atau sistem yang dirancang. Dengan demikian, kesimpulan memberikan gambaran umum mengenai

keberhasilan proses, efektivitas alat, serta rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut apabila diperlukan.



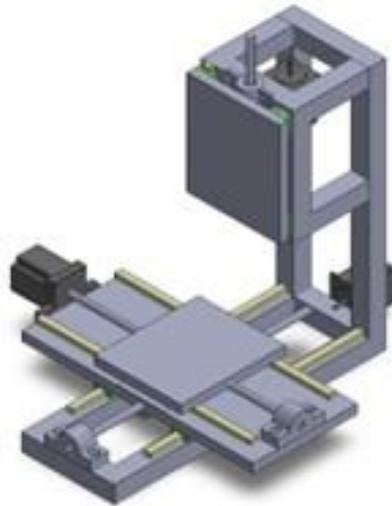
BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penyusunan proyek akhir ini diperoleh melalui diskusi dan studi literatur. Diskusi dilakukan guna memperoleh pemahaman mendalam mengenai *milling* CNC serta komponennya, terutama melalui interaksi langsung dengan dosen pembimbing. Selanjutnya, penulis melakukan studi literatur dengan berbagai sumber ilmiah seperti jurnal, artikel, makalah, laporan penelitian dan referensi relevan lainnya. Kegiatan ini bertujuan untuk membangun dasar teoritis dan konteks ilmiah yang mendukung pelaksanaan dan penyusunan proyek akhir.

4.2 Desain Alat

Setelah melakukan pengumpulan data, penulis melakukan desain rancang bangun mesin *milling* CNC sederhana. Pada perancangan/desain alat, penulis menggunakan *software* desain. Adapun hasil desain gambar mesin *milling* CNC sederhana dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4. 1 Desain Alat

4.3 Pembuatan Komponen

Proses pembuatan komponen pada rangka mesin *milling* CNC dilakukan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Peralatan yang digunakan yaitu, mesin *frais felhman*, mesin gergaji potong, alat ukur seperti meteran, jangka sorong, dan kunci L.

4.4 Perakitan

Dalam proses pembuatan komponen alat mesin *milling* CNC sederhana dilakukan dalam beberapa proses permesinan seperti mesin frais, gergaji (*hackshaw machine*). Tahap yang dilakukan adalah proses pembuatan alat mencakup proses pabrikan dan proses permesinan adapun tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Proses pabrikan adalah suatu proses pekerjaan material seperti dudukan, dan lain-lain yang dilakukan secara bertahap berdasarkan komponen-komponen tertentu agar menjadi suatu bentuk yang diinginkan.
- Pemotongan alumunium profil

Mesin yang digunakan dalam pemotongan alumunium profil yaitu, mesin gergaji potong dan mesin *frais*. Adapun langkah-langkah pengerjaannya:

1. Menentukan ukuran dan memotong material

Langkah pertama adalah mengukur bahan mentah menggunakan alat ukur seperti jangka sorong atau penggaris untuk memperoleh ukuran yang tepat. Setelah pengukuran selesai, material kemudian dipotong menggunakan gerinda potong sesuai dimensi yang telah ditentukan.

2. Meratakan permukaan dan membuat lubang

Selanjutnya, gunakan mesin *frais* untuk meratakan permukaan yang masih kasar atau tidak rata. Setelah permukaan halus, lakukan pengeboran pada titik-titik tertentu yang akan dipasangi baut untuk keperluan perakitan dudukan.

3. Pemasangan

Rangka dudukan kemudian dipasang pada tempatnya dan dikencangkan dengan menggunakan baut L ukuran M6. Proses penguncian dilakukan

menggunakan kunci L agar dudukan terpasang dengan kokoh dan tidak bergeser.

4. Pembuatan kerangka

Material yang digunakan ada alumunium profil dengan ukuran sebagai berikut.

Sumbu X: P 40,3 cm x L 18 cm x T 15 mm

Sumbu Y: P 39 cm x L 18 cm x T 15 mm

Sumbu Z: P 20 cm x L 20 cm x T 20 cm

Hasil pemotongan alumunium profil dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4. 2 Pemotongan Alumunium Profil

- Perakitan eretan rel sumbu X, Y dan Z.
eretan rel sumbu X, Y dan Z menggunakan bahan *linear guide rail* MGN 12 dan *linear guide block* MGN 12 dengan jumlah sebagai berikut:
Linear Guide Rail: 5 buah
Linear Guide Block: 12 buah
Baut M3: 40 buah

Peralatan yang digunakan yaitu menggunakan mesin *frais*, khususnya untuk pengeboran pada bahan alumunium profil, berikut langkah-langkah pengerjaannya:

1. Penandaan titik lubang
Lakukan penandaan pada permukaan benda kerja dengan menggunakan penitik untuk menentukan posisi lubang yang akan dibor.
2. Menyiapkan mesin *frais*

Siapkan mesin dan atur mesin frais untuk proses pengeboran sesuai titik yang telah di tandai.

3. Proses pengeboran

Lakukan pengeboran tepat pada tanda penitik untuk membuat lubang yang akan digunakan sebagai tempat pemasangan baut pada *linear guide rail*.

4. Proses *tapping* (pembuatan ulir)

Setelah lubang selesai dibor, lanjutkan dengan proses *tapping* atau pembuatan ulir pada lubang tersebut agar baut M3 dapat dipasang dengan kuat ke alumunium profil. Hasil pengeboran dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4. 3 Pengeboran Pada Alumunium Profil

- Pembuatan komponen dudukan *bearing* dengan jumlah barang sebagai berikut:

Bahan: 3d printer

Jumlah *Block Bearing* :3 pc

Adapun langkah-langkah dalam proses pembuatan komponen dudukan *bearing* dengan menggunakan mesin 3D Printer adalah sebagai berikut:

1. Membuat desain menggunakan *solidwork*

Langkah awal adalah merancang model dudukan ulir menggunakan perangkat lunak desain CAD seperti *solidwork*. Desain ini mencakup dimensi, bentuk ulir, dan lubang pemasangan yang dibutuhkan. Setelah selesai, file disimpan dalam format STL dan dimasukkan ke dalam memori (*flashdisk* atau *SD card*) untuk digunakan pada mesin cetak 3D.

2. Menyalakan dan memanaskan mesin 3D printer

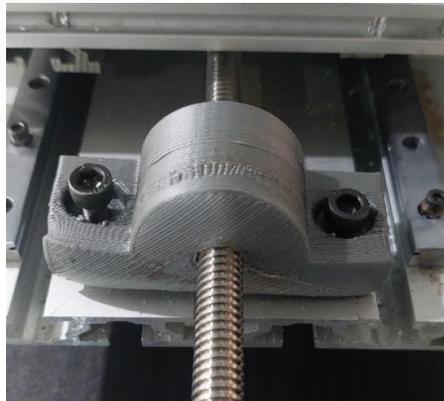
Sebelum proses pencetakan dimulai, mesin 3D printer dinyalakan dan dipanaskan sesuai suhu material *filament* yang digunakan. Pemanasan ini meliputi *nozzle* (kepala cetak) dan *heated bed* (alas pencetakan) untuk memastikan hasil cetakan merekat dengan baik.

3. Memasang *filament* ke mesin

Setelah suhu mesin mencapai titik yang sesuai, masukkan *filament* (biasanya PLA atau ABS) ke dalam *extruder*. Pastikan *filament* masuk dengan lancar agar tidak terjadi hambatan saat pencetakan.

4. Memulai proses pencetakan

Jalankan perintah *start* pada mesin dan pilih *auto home* untuk Kembali ke titik 0, lalu pilih file desain yang telah disimpan sebelumnya. Mesin akan mulai bekerja secara otomatis mengikuti bentuk desain 3D yang telah dibuat. Tunggu hingga proses pencetakan selesai. Hasil pembuatan komponen dudukan dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4. 4 Pembuatan Dudukan *Bearing*

- Perakitan komponen sumbu X, Y, dan Z dengan bahan dan jumlah sebagai berikut:

Motor *stepper*: 3 unit

Plat besi: 1 buah

Baut L (diameter 3 mm): 30 buah

Akrilik: 1 lembar (ukuran 50 cm x 30 cm)

Mesin yang digunakan dalam perakitan komponen sumbu X, Y, dan Z yaitu, Bor tangan dan gerinda tangan. Berikut langkah-langkah perakitan:

1. Menandai area potong pada plat besi dan akrilik

Proses dimulai dengan melakukan pengukuran dan penandaan pada plat besi dan akrilik. Penandaan dilakukan berdasarkan rancangan desain yang telah dibuat sebelumnya untuk memastikan setiap komponen terpasang pada posisi yang tepat.

2. Memotong plat besi dan akrilik

Setelah proses penandaan, bagian yang telah ditandai kemudian dipotong menggunakan gerinda tangan. Pemotongan dilakukan secara hati-hati agar dimensi dan bentuk sesuai dengan kebutuhan serta tidak merusak material.

3. Menandai titik bor untuk pemasangan komponen

Selanjutnya dilakukan penandaan pada plat besi dan akrilik untuk menentukan lokasi pengeboran. Titik bor disesuaikan dengan letak motor *stepper*, penopang, dan jalur sambungan antar komponen.

4. Melakukan pengeboran lubang

Lubang-lubang yang telah ditandai kemudian dibor menggunakan mesin bor tangan. Ukuran lubang disesuaikan dengan diameter baut L yang akan digunakan, sehingga pemasangan dapat dilakukan dengan presisi dan kuat.

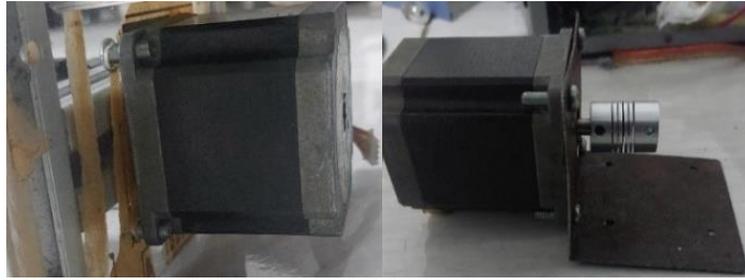
5. Melakukan pengetapan (*tap*) pada bagian alumunium

Pada bagian alumunium yang akan dipasang baut, dilakukan proses pengetapan. Pengetapan bertujuan untuk membentuk ulir dalam lubang yang telah dibor agar baut dapat dipasang tanpa menggunakan mur tambahan, sekaligus memperkuat ikatan antar komponen.

6. Perakitan komponen pada sumbu X, Y, dan Z

Setelah semua bagian siap, motor *stepper* dan komponen lainnya dipasang pada posisi masing-masing menggunakan baut L. Perakitan dilakukan secara bertahap dan disesuaikan dengan sistem gerak *linear* agar pergerakan setiap sumbu berjalan lancar dan tidak terhambat.

Hasil dari perakitan komponen dudukan motor X, Y, dan Z dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4. 5 Motor *Stepper*

➤ Perakitan komponen listrik

Material yang digunakan dan jumlah bahan yang digunakan yaitu :

Relay: 1 unit

Driver motor stepper TB6560: 3 unit

Alat yang digunakan dalam perakitan komponen listrik yaitu bor tangan dan gerinda tangan. Berikut langkah-langkah perakitan:

1. Memotong akrilik sesuai kebutuhan

Akrilik dipotong menggunakan gerinda tangan dengan ukuran yang telah disesuaikan untuk menjadi tempat dudukan komponen listrik seperti *relay* dan *driver motor stepper*. Pemotongan dilakukan dengan hati-hati agar hasil potongan rapi dan tidak retak.

2. Mengebor lubang pada akrilik

Setelah akrilik dipotong, dilakukan pengeboran pada beberapa titik yang telah ditandai sebelumnya. Lubang ini berfungsi sebagai jalur baut untuk menyatukan akrilik dengan rangka atau dudukan mesin.

3. Mengetap dudukan mesin

Bagian dudukan mesin yang akan disambungkan dengan akrilik diberi ulir menggunakan proses *tapping*. Tujuannya adalah untuk memudahkan proses pemasangan baut tanpa memerlukan mur tambahan serta memastikan sambungan antara akrilik dan dudukan mesin menjadi lebih kuat dan stabil.

Hasil perakitan komponen listrik dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut.



Gambar 4. 6 Perakitan *Power Supply* dan *Driver Motor Stepper*

4.4.1 Perakitan Sistem Mekanik

Pada tahap ini berisi proses perakitan mekanik mesin. Setelah pembuatan komponen selesai, dilakukan pemasangan bagian-bagian mekanik seperti *lead screw*, kopling, *linear guide rail*, alumunium profil, dan *bearing*. *Bearing* dipasangkan pada dudukannya, kopling disambungkan ke motor stepper dan *lead screw*, *linear guide rail* dipasang pada alumunium profil, kemudian seluruh bagian dirakit menjadi satu kerangka dengan sistem mekanik yang lengkap. Gambar perakitan mekanik mesin dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut.

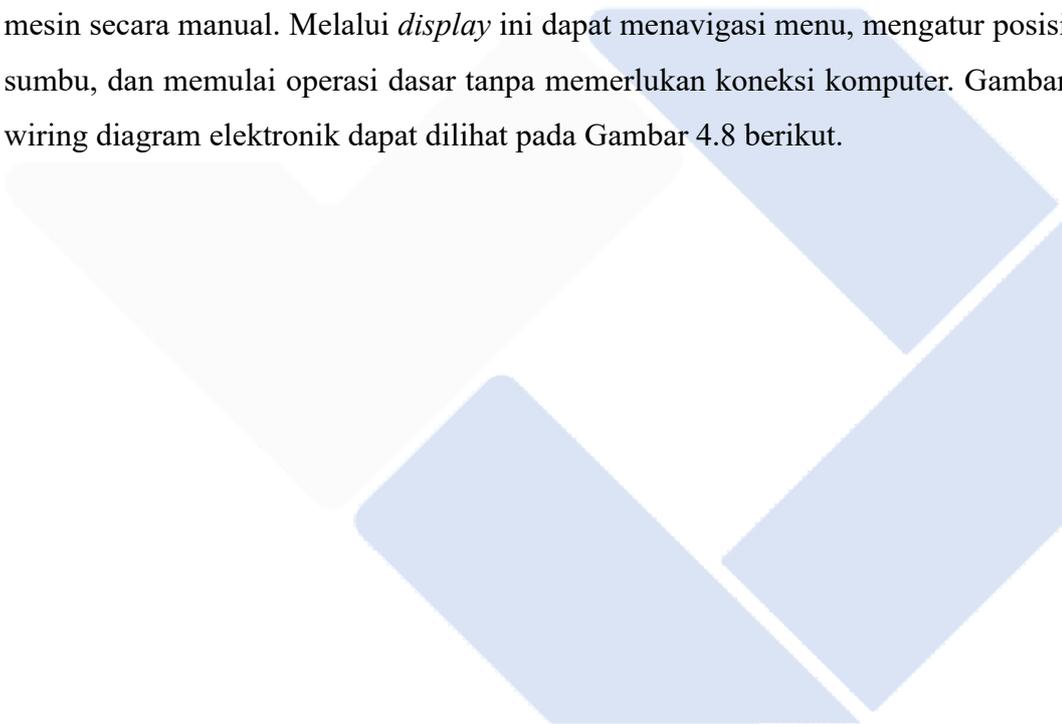


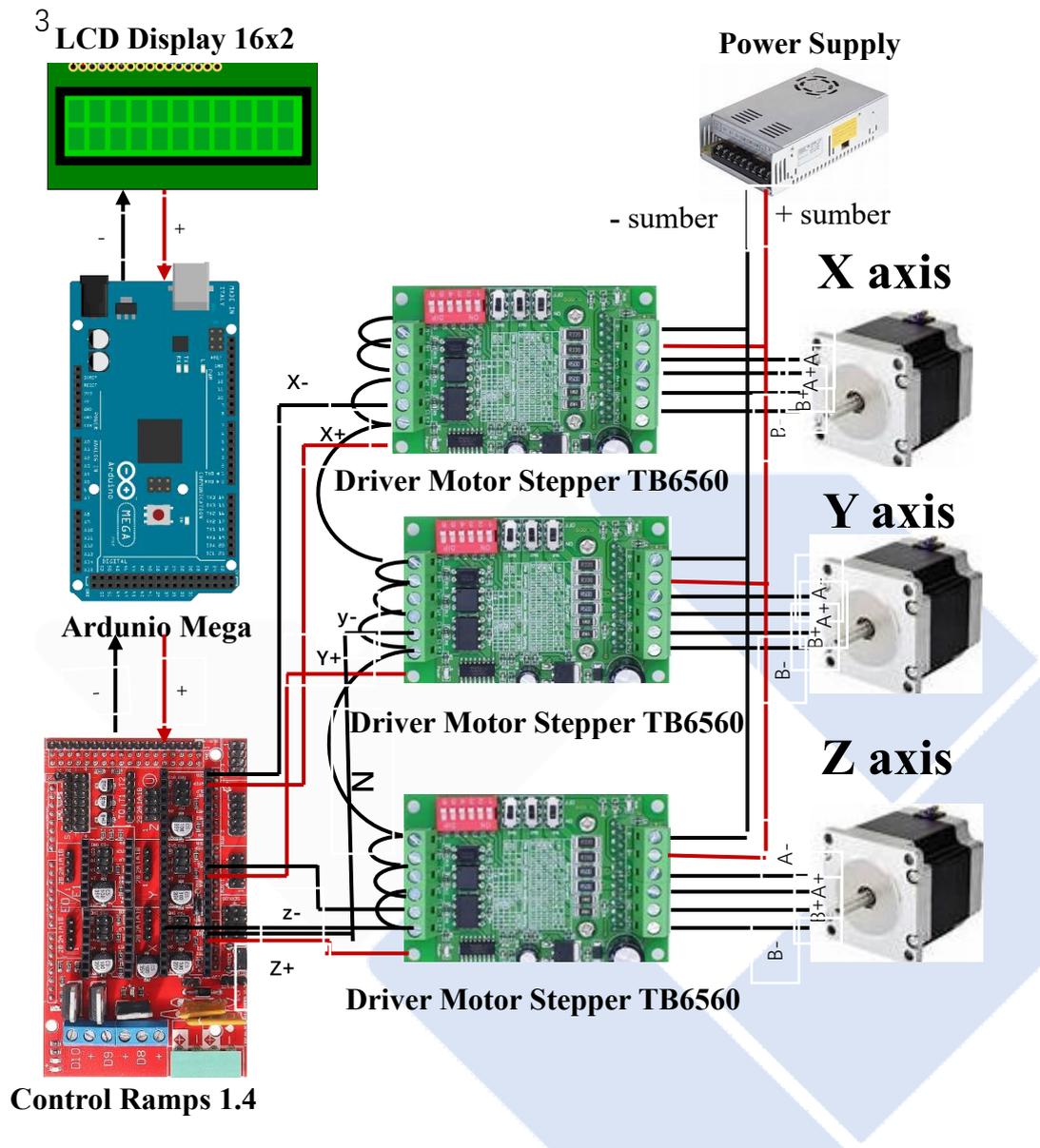
Gambar 4. 7 Perakitan Mekanik Mesin

4.4.2 Perakitan Sistem Control Elektronik

Pada tahap perakitan sistem elektronik mesin setelah perakitan mekanik selesai, perakitan sistem elektronik dimulai dengan menyiapkan komponen utama seperti *ardunio mega 2560*, *ramps 1.4*, *driver motor stepper TB6560*, motor *stepper*, *power supply*, serta kabel dan konektor pendukung. *Ramps 1.4*

dipasangkan langsung ke atas *ardunio mega 2560* dengan menyelaraskan semua pin *header*. *Driver* motor *stepper* kemudian dipasang ke slot yang tersedia di *ramps 1.4* untuk sumbu X, Y dan Z. Motor *stepper* disambungkan *driver* motor *stepper*, lalu disambungkan *ramps 1.4* sesuai dengan masing-masing sumbu, dengan memperhatikan urutan kabel *coil*. *Power supply* DC 24V kemudian dikoneksikan ke terminal *ramps*, dengan memastikan kabel terpasang dengan kuat. *Limit switch (endstop)* dipasang pada sumbu X, Y dan Z. Setelah seluruh komponen terhubung, *ardunio mega* dihubungkan dengan modul *display* LCD, yang berfungsi sebagai antar muka untuk mengakses dan mengontrol pergerakan mesin secara manual. Melalui *display* ini dapat menavigasi menu, mengatur posisi sumbu, dan memulai operasi dasar tanpa memerlukan koneksi komputer. Gambar wiring diagram elektronik dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut.





Gambar 4. 8 Wiring Diagram Listrik

4.5 Pengujian Fungsi

Pengujian fungsi adalah proses memastikan bahwa setiap komponen atau bagian dari suatu sistem atau mesin dapat bekerja sesuai dengan fungsinya yang telah dirakit. Tabel pengujian fungsi dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Pengujian Fungsi

No	Komponen yang diuji	Fungsi yang diuji	Hasil
1	Motor <i>stepper</i> sumbu x	Gerakan sumbu x	Berfungsi
2	Motor <i>stepper</i> sumbu y	Gerakan sumbu y	Berfungsi

3	Motor <i>stepper</i> sumbu z	Gerakan sumbu z	Berfungsi
4	<i>Spindle</i>	Putaran <i>spindle</i>	Berfungsi
5	<i>Limit switch</i>	Gerakan ke arah <i>endstop</i>	Berfungsi
6	Sistem kontrol (<i>mikrokontroler</i>)	Kirim beberapa instruksi G-code sederhana	Berfungsi

4.6 Pengujian Presisi

Pengujian pergerakan ini merupakan suatu bentuk pengujian untuk melihat tingkat kepresisian pergerakan pada sumbu X, Y, dan Z. Dalam proses pengujian, ditemukan adanya pergerakan yang tersendat atau macet pada masing-masing sumbu. Hal ini umumnya disebabkan oleh kondisi *lead screw* yang tidak lurus atau *linear guide rail* yang kurang pelumasan. Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan proses penyetelan dan pelumasan menggunakan oli dan *grease* guna memperlancar pergerakan. Pengujian dilakukan menggunakan *dial indicator* dengan ketelitian 0,01 mm, untuk memantau deviasi atau penyimpangan pergerakan pada tiap sumbu secara presisi. Tabel hasil pengujian pergerakan dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 Pengujian Pergerakan Sumbu X, Y dan Z

Uji coba ke 1

Pergerakan	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z
0,1 mm	0,03 mm	0,02 mm	0,02 mm
0,5 mm	0,06 mm	0,07 mm	0,07 mm
1 mm	1,02 mm	1,03 mm	1,01 mm
5 mm	5,02 mm	5,01 mm	4,99 mm

Uji coba ke 2

Pergerakan	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z
0,1 mm	0,02mm	0,03 mm	0,02mm
0,5 mm	0,05 mm	0,07 mm	0,07 mm
1 mm	1,01 mm	1,02 mm	0,99 mm
5 mm	5,02 mm	5,02 mm	5,01mm

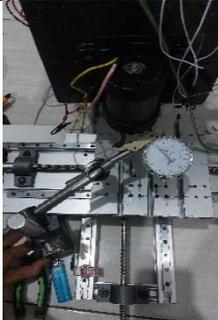
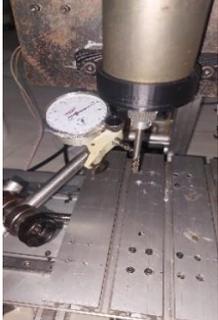
Uji coba ke 3

Pergerakan	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z
0,1 mm	0,3 mm	0,02 mm	0,03 mm
0,5 mm	0,06 mm	0,06 mm	0,07 mm
1 mm	1,01 mm	1,02 mm	0,98 mm
5 mm	5,03 mm	5,02 mm	5,02 mm

4.6 Pengujian Geometri

Pengujian geometri adalah proses pengecekan akurasi fisik dan keselarasan struktur mesin untuk memastikan bahwa semua komponen terpasang dan bekerja secara presisi. Tujuan utamanya adalah agar mesin dapat bergerak dengan benar di sepanjang sumbu X, Y, dan Z alat yang kami gunakan yaitu *dial indicator* dengan ketelitian 0,01 mm. Tabel pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4. 3 Pengujian Geometri

Gambar	Bagian yang diperiksa	Penyimpangan awal	Setelah diperbaiki	Standar penyimpangan
	Kesumbuan putaran spindel	0,24 mm	0,13 mm	0,15 mm
	Ketegaklurusan spindel dengan meja di ukur dari jarak	0,25 mm	0,14 mm	0,15 mm

Gambar	Bagian yang diperiksa	Penyimpangan awal	Setelah diperbaiki	Standar penyimpangan
	Kesejajaran dengan arah naik turun sumbu A. B.	A. 0,22 mm B. 0,23 mm	A. 0,13 mm B. 0,14 mm	0,15 mm

	Kerataan sumbu pada meja diukur dalam arah kanan atas dan bawah A. B.	0,25 mm	0,14 mm	0,15 mm
---	---	---------	---------	---------

Gambar	Bagian yang diperiksa	Penyimpangan awal	Setelah diperbaiki	Standar penyimpangan
	Kesejajaran meja terhadap landasan diukur dalam posisi A. B.	A. 0,22 mm B. 0,20 mm	A. 0,14 mm B. 0,14 mm	0,15 mm
	Kerataan sumbu pada meja diukur dalam 200 mm dengan 2 titik	0,25 mm	0,14 mm	0,15 mm

Gambar	Bagian yang diperiksa	Penyimpangan awal	Setelah diperbaiki	Standar penyimpangan
	Kesejajaran meja terhadap landasan diukur dalam posisi A. B.	A. 0,19 mm B. 0,22 mm	A. 0,14 mm B. 0,14 mm	0,15 mm

	Kerataan sumbu pada meja diukur dalam 200 mm dengan 2 titik	0,18 mm	0,14 mm	0,15 mm
---	---	---------	---------	---------

4.7 Pengujian Proses Pemakanan

Pada tahap akhir pelaksanaan proyek ini, dilakukan pengujian menyeluruh terhadap seluruh sistem mesin, mencakup komponen mekanik dan elektronik. Pengujian ini dilaksanakan setelah sebelumnya dilakukan pengecekan pergerakan sumbu (axis) guna memastikan bahwa sistem kendali gerak bekerja sesuai dengan parameter yang telah ditentukan. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk memverifikasikan bahwa sistem dapat beroperasi secara stabil, presisi, dan selaras dengan rancangan awal. Pengujian dilakukan secara manual dengan media benda kerja berupa kayu, di mana bentuk lintasan yang ingin dipotong 34 mm x 30 mm dengan kedalaman pemakanan sekitar 3 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Terdapat penyimpangan dari pergerakan sumbu Y yaitu 36 mm dari 34 mm. Hasil dari pengujian pemakanan secara manual dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut.



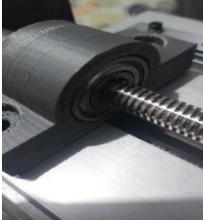
Gambar 4. 9 Hasil Pengujian Secara Manual

4.8 Perawatan

Pada tahapan ini kami membuat tabel pemeliharaan preventif. Perawatan preventif adalah jenis perawatan yang dilakukan secara rutin dan terjadwal dengan tujuan mencegah kerusakan, gangguan, atau penurunan kinerja pada suatu perawatan, mesin atau sistem sebelum terjadi kerusakan parah. Menyajikan sebuah

tabel yang memuat jadwal perawatan mesin, yang berfungsi sebagai acuan waktu untuk melakukan perbaikan atau pemeliharaan rutin pada setiap komponen mesin. Rincian jadwal tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4. 4 Perawatan Preventif

No	Gambar	Nama komponen	Metode perawatan	Alat yang digunakan
1		Linear guide rail	Dengan metode pelumasan, jika kotor dibersihkan	Oli/grease dan majun
2		Block kopling	Keretakan diperiksa dengan metode inspeksi visual	Visual
3		Alumunium profil	Dibersihkan jika kotor	Majun atau kain
4		Lead screaw	Dengan cara dilumasi dan jika kotor dibersihkan	Oli/grease dan majun
5		Bearing	Dengan cara dilumasi dan diganti jika aus	Oli/grease dan majun

4.9 Biaya pembuatan Mesin

Dalam proses pembuatan mesin *milling* cnc sederhana, dibutuhkan berbagai komponen mekanik. Biaya dikeluarkan untuk memenuhi kebutuhan material seperti alumunium profil, bearing, lead screw serta perlengkapan pendukung lainnya. Rincian lengkap mengenai total biaya dan jenis barang yang dibeli dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4. 5 Daftar Harga Barang

Nama barang	Jumlah barang	Harga barang
<i>Linear Guide Rail</i>	4 batang	Rp.907.000
<i>Bearing</i>	6 buah	Rp.30.000
<i>Lead Screw</i>	3 batang	Rp.260.000
<i>Coupling</i>	3 buah	Rp.18.000
Baut M6	12 buah	Rp.24.000
Baut M8	16 buah	Rp.32.000
Baut M3	50 buah	Rp.100.000
Alumunium profil	1 batang	Rp.920.000
<i>Flament printer</i>	1 buah	Rp.280.000
<i>Bearing block</i>	12 buah	Rp.1.280.000
Akrilik	1 pcs	Rp.100.000
<i>Pulyy</i>	2 buah	RP.135.000
<i>Belt</i>	2 pcs	Rp.110.000
Total		Rp.4.196.000

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang penulis ambil pada hasil proyek Rancang Bangun Mesin *Milling* CNC sederhana bisa disimpulkan sebagai berikut:

1. Proses perakitan sistem mekanik telah berhasil dilakukan menggunakan komponen-komponen utama seperti aluminium profil, lead screw, linear guide rail, bearing dan motor stepper. Pemilihan dan pemasangan komponen dilakukan secara sistematis melalui proses pemotongan, pengeboran, penyetapan, dan merakit rangka.
2. Sistem kontrol dirancang menggunakan mikrokontroler *ardunio mega 2560*, dikombinasikan *ramps 1.4* dan tiga *driver* motor *stepper* TB6560, serta modul LCD display. Sistem ini mampu menerjemahkan perintah G-code dari perangkat lunak kontrol ke dalam bentuk pergerakan motor stepper secara otomatis. Limit switch dipasang untuk mendeteksi batas pergerakan tiap sumbu guna menghindari tumbukan mekanis.
3. Pengujian mesin dilakukan secara menyeluruh dalam empat tahap utama yaitu:
 - Pengujian fungsi menunjukkan bahwa semua komponen bekerja sesuai dengan fungsinya, termasuk sistem gerak dan kontrol.
 - Pengujian presisi menunjukkan bahwa mesin mampu mengikuti perintah gerakan dengan deviasi minimum. Sumbu X memiliki deviasi 0,20 mm pada gerakan kecil (0,1 mm), namun stabil pada 0,02-0,03 untuk gerakan lebih besar. Sumbu Y sangat stabil dengan deviasi < 0,03 mm, sedangkan sumbu Z menunjukkan akurasi tinggi dengan deviasi maksimum 0,02 mm.
 - Pengujian geometri meliputi pengukuran kesejajaran, ketegaklurusan, dan kerataan. Berdasarkan hasil menggunakan dial indikator dengan ketelitian 0,01 mm, didapatkan bahwa penyimpangan awal adalah 0,24 mm, dan setelah dilakukan penyetelan turun menjadi 0,13 mm.
 - Pengujian proses pemakanan dilakukan secara manual terhadap media kayu dengan ukuran 3 mm. Hasil aktual pada sumbu Y mencapai 36 mm,

menunjukkan adanya deviasi sekitar 2 mm. Hal ini menunjukkan perlunya penyempurnaan pada aspek pemograman agar hasil pemotongan lebih akurat.

5.2 Saran

Dalam upaya meningkatkan kualitas rancang bangun mesin *miling* CNC mini ini kami sarankan beberapa area yang perlu diperbaiki, Berikut beberapa saran untuk memaksimal kan mesin tersebut yaitu:

1. Rancang bangun mesin cnc ini memerlukan pengembangan lebih lanjut, terutama pada konstruksi mesin, untuk memastikan mesin dapat beroperasi dengan baik dan efektif.
2. Pada penelitian berikutnya sarankan untuk memperhatikan ke presisian sumbu X, Y dan Z agar lebih baik dalam pemotongan sehingga hasil benda kerja lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrisa, H. H. (2019). AN OVERVIEW OF PROSES CNC MACHINING. *Journal of Mechanical Science and Engineering*, 6(2), 19-23.
- Ayala-Chauvin, M., Saá, F., Rodríguez, R., Domènech-Mestres, C., & Ribas-Sanmartí, G. (2020, December). Design and Construction of a Low Cost CNC Milling Machine for Woodworking. In *International Conference on Applied Technologies* (pp. 379-390). Cham: Springer International Publishing.
- Boral, P. (2019). The design of the CNC milling machine. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 254, p. 01003). EDP Sciences.
- Buelow, M. W., & Shivappa, S. (2019). *An investigation of CNC machining errors resulting from G-code programming inconsistencies*. *Journal of Manufacturing Processes*, 45, 748–758.
- Yang, J., Feng, B., Enming, H., Ding, G., & Yongliang, L. (2015). *Numerical control system based on virtual host computer*.
- Fatriyana, M. (2020). CNC program and programming of CNC machine. *Journal of Mechanical Science and Engineering*, 7(2), 19-23.
- Gatot Eka Pramono, M. T., Supriatma, E., & Sutisna, S. P. (2017). Retrofit Motor Stepper Mesin CNC 3 Axis UIKA Prototype 3. *APLIKASI MEKANIKA DAN ENERGI*, 3(2), 60.
- Imran, A., Bagenda, F., Suhartono, Y., Wibowo, N. R., & Ishak, I. (2019). Rancang Bangun Mesin CNC Milling 3 Axis Berbasis Mikrokontroler. *Mechatronics Journal in Professional and Entrepreneur*, 1(1), 21-26.
- Kasim, B., Usman, U., Sumardi, S., Razi, M., Saputra, E., & Harmin, A. (2025). Rancang Bangun Mesin CNC Laser Engraving Berbasis Arduino untuk Edukasi Teknologi CNC. *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, 11(1), 1-12.
- Kurniawan, I. D., Armando, J. K., Etsa, L. I. M. G., Hardianto, V. T., & Prabandono, B. (2020). Perancangan Mesin CNC Laser untuk Pengerjaan Pipa Acrylic. *IMDeC*, 34-43.
- Mashinton, A., Hasan, H., Aqilah, F. J., Wibowo, N. R., & Ishak, I. (2021). Rancang Bangun Mesin CNC Milling 3 Axis Dengan Menggunakan Sistem Kontrol

- Android. *Mechatronics Journal in Professional and Entrepreneur.*, 3(1), 1-8.
- Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172-196.
- Ramdani, R., Saleh, A., & Primahidin, I. (2024). RANCANG BANGUN CNC PRINTER 3 DIMENSI MENGGUNAKAN ARDUINO MEGA 2560. *Jurnal TEDC*, 18(1), 59-66
- Rotar R, Petcuț FM, Susany R, Oprețoiu F, Vlăduțiu M. Dependability Assessment of a Dual-Axis Solar Tracking Prototype Using a Maintenance-Oriented Metric System. *Applied System Innovation*. 2024; 7(4):67.
- Septiana, R., & Wibowo, A. (2021). *Implementasi Program CNC G-Code dan M-Code untuk Pemesinan Komponen Teknik*. *Jurnal Teknik Mesin UNTAG*, 8(2), 102–109.
- Sk, R., Julsam, J., Kartika, K., Fendri, A., & Mulyadi, M. (2019). Implementasi Mini CNC Router 3 Axis untuk Pembuatan Huruf dan Gambar Berbasis GRBL 3.6. 1. In *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe* (Vol. 3, No. 1, p. 95).Hua, Z., Xu, Y., & Hua, D. (2011). *CNC (computerized numerical control) engraving and milling machine*.
- Widodo, D. S., Sembodo, A., Mukmin, M. G., & Dozeno, J. (2019, October). Rancang Bangun Mesin CNC 3-Axis Berbasis Mikrokontroler Arduino. In *Seminar Nasional Teknik Mesin* (Vol. 9, No. 1, pp. 300-308).
- Zhao, C., Zhang, Z., & Xie, W. (2021). *Design and analysis of high-precision bearing systems in CNC machine tools*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 113(1), 219–229
- Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2021). The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. *International journal of production research*, 59(6), 1922-1954.



**LAMPIRAN 1
(DAFTAR RIWAYAT HIDUP)**

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Data Pribadi

Nama lengkap : Abbi Azan

Tempat & tanggal lahir : Pemali, 7 Mei 2004

Alamat rumah : Desa Pemali

Hp : 085896535419

Email : abbiazan04@gmail.com

Jenis kelamin : Laki-laki

Agama : Islam



2. Riwayat Pendidikan

SDN Lulus 2013

SMPN 2 PEMALI Lulus 2019

SMA 1 PEMALI Lulus 2022

Politeknik Manufaktur Negri Bangka Belitung Sekarang

3. Pendidikan Non Formal

Sungailiat, 30 Juli 2025

Abbi Azan

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Data Pribadi

Nama Lengkap : Sapta Marga

Tempat & tanggal lahir : Sungailiat, 07 desember 2004

Alamat rumah : Pangkal Pinang

Hp : 085766937723

Email : Margasapta34@gmail.com

Jenis kelamin : Laki-laki

Agama : Islam



2. Riwayat Pendidikan

SDN 14 Air bakung Lulus 2013

SMP 1 Pemali Lulus 2019

SMA Negeri 1 Pemali Lulus 2022

Politeknik Manufaktur Negri Bangka Belitung Sekarang

3. Pendidikan Non Formal

Sungailiat, 30 Juli 2025


Sapta Marga



LAMPIRAN 2
(GAMBAR PERAKITAN MESIN)

LAMPIRAN



Foto proses melakukan pengeboranudukan bearing pada alumunium profil



Foto proses melakukan perakitan komponen elektronik



Foto proses melakukan pembuatan dudukan bearing menggunakan 3D printer



Foto proses melakukan pemasangan *lead screw*



Foto pengujian pemakanan dengan menggunakan benda kerja kayu



Foto proses melakukan pengujian geometri dan uji presisi