



# PERANCANGAN SISTEM GERAK SEMI OTOMATIS PADA PROTOTYPE MESIN FRAIS MINI BERBASIS SPINDEL BOR TANGAN DENGAN ARDUINO DAN MOTOR STEPPER

Dicky Tria Prasetyo<sup>1)</sup>, Diah Wulandari<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>D4 Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia  
Email: [dickytria.22011@mhs.unesa.ac.id](mailto:dickytria.22011@mhs.unesa.ac.id)

<sup>2)</sup>D4 Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia  
Email: [diahwulandari@unesa.ac.id](mailto:diahwulandari@unesa.ac.id)

## Abstract

The development of manufacturing technology and Industry 4.0 demands machine tools that are more efficient, precise, and affordable for educational purposes. However, conventional machines are still limited by high costs and dependence on operator skills, while laboratory-scale machines are not yet optimal in terms of accuracy and control systems. This study aims to design and build a semi-automatic mini milling machine prototype utilizing a hand drill as the spindle, stepper motors as axis actuators, and an Arduino as the main controller. The research method employed is a Research and Development (R&D) approach, which includes the stages of design, fabrication, and motion system testing. The design process began with the creation of a system block diagram and 2D/3D designs, followed by mechanical assembly and electrical system installation. Testing focused on motion accuracy and stability by comparing the theoretical values programmed in the Arduino IDE with the actual measurement results obtained from the test material. The research results indicate that the semi-automatic mini milling machine prototype is capable of operating effectively and achieving a high level of accuracy. In the testing of movement along the X and Y axes, the average accuracy levels obtained were 99.41% and 99.88%, respectively. Meanwhile, for the Z axis, the average accuracy levels were 97.91% for Z1 and 95.8% for Z2. These values indicate that the motion system is able to execute programmed commands with relatively small deviations and remains within acceptable tolerance limits for machining soft materials such as nylon or polyethylene.

**Keywords:** Mini Milling Machine, Arduino, Stepper Motor, Semi-Automatic System.

## Abstrak

Perkembangan teknologi manufaktur dan Industri 4.0 menuntut mesin perkakas yang lebih efisien, presisi, dan terjangkau untuk pendidikan. Namun, mesin konvensional masih terkendala biaya dan ketergantungan pada operator, sedangkan mesin laboratorium belum optimal dalam akurasi dan sistem kendali. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun prototipe mesin frais mini semi otomatis dengan memanfaatkan bor tangan sebagai spindel, motor stepper sebagai penggerak sumbu, serta Arduino sebagai pengendali utama. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan Research and Development (R&D) yang meliputi tahap perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem gerak. Perancangan diawali dengan pembuatan diagram blok sistem dan desain 2D/3D, kemudian dilanjutkan dengan proses perakitan mekanik dan instalasi sistem kelistrikan. Pengujian difokuskan pada ketepatan perpindahan dan kestabilan gerak dengan membandingkan nilai teoritis dari program Arduino IDE terhadap hasil pengukuran aktual pada material uji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe mesin frais mini semi otomatis mampu bekerja dengan baik dan mencapai tingkat akurasi yang tinggi. Pada pengujian perpindahan sumbu X dan Y, diperoleh tingkat akurasi rata-rata masing-masing sebesar 99,41% dan 99,88%, sedangkan pada sumbu Z diperoleh tingkat akurasi rata-rata sebesar pada Z1 97,91% dan Z2 95,8%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem gerak mampu merealisasikan perintah program dengan penyimpangan yang relatif kecil dan masih dalam batas toleransi yang dapat diterima untuk pemesinan material lunak seperti nylon atau polyethylene.

**Kata Kunci:** Mesin Frais Mini, Arduino, Motor Stepper, Semi Otomatis.



## PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan teknologi manufaktur, kebutuhan mesin perkakas yang lebih efisien, presisi, dan mudah digunakan semakin meningkat. Mesin perkakas seperti bubut, bor, dan frais sudah lama menjadi andalan dalam dunia pemesinan. Perkembangan teknologi manufaktur saat ini tidak terlepas dari partisipasi dalam gerakan global menuju Industri 4.0, yang menekankan pada penerapan otomasi di berbagai sektor industri. Penerapan otomasi secara masif dalam bidang manufaktur telah menyebabkan adanya penurunan, atau dapat disebut sebagai “kemunduran”, dalam jumlah tenaga kerja yang terlibat secara langsung. Hal ini dikarenakan mesin-mesin konvensional yang masih sangat bergantung pada tenaga kerja manual, semakin banyak digantikan oleh sistem otomasi (Khairudin dkk., 2020).

Dalam perkembangan dunia manufaktur modern, peran teknologi komputer dan sistem kendali otomatis semakin dominan dalam mendukung kinerja mesin perkakas. Pengembangan mesin teknologi terkait mesin yang diciptakan menggunakan aplikasi komputer yang canggih untuk memajukan aktivitas manusia dan, oleh karena itu, untuk dampak penggunaan sistem otomatisasi. Otomatisasi adalah penggunaan teknologi untuk melakukan proses dan mengendalikan sistem secara mekanis, elektronik, dan berbasis komputasi. Dengan penerapan sistem seperti itu, tugas manual tertentu dapat dilakukan secara otomatis. Ini menghemat jumlah pekerjaan yang perlu dilakukan (Kurniawan dkk., 2020).

Otomatisasi pada mesin perkakas dalam dunia industri berbasis komputer biasa dikenal dengan Computer Numerical Control (CNC). Teknologi ini hadir untuk mempermudah pengerjaan mesin perkakas. Dalam penelitian Kurniawan dkk., (2020) yang berjudul “Rancang Bangun Mesin CNC *Lathe Mini 2 Axis*” menyatakan bahwa secara umum, struktur mesin CNC mempunyai prinsip kerja yang tersinkronisasi antara, komputer elektronik, dan mesinnya. CNC memungkinkan kontrol otomatis yang fleksibel melalui perangkat lunak sehingga proses produksi dapat dilakukan lebih cepat dan konsisten. Namun, biaya investasi mesin CNC masih relatif tinggi dan sistem kontrolnya cukup kompleks Untuk diaplikasikan di laboratorium pendidikan maupun industri kecil. Tingginya harga mesin CNC sering menjadi kendala bagi perusahaan dalam melakukan investasi, sehingga dibutuhkan inovasi teknologi untuk mengurangi beban biaya pada bidang pemesinan, khususnya penggunaan mesin CNC (Ahfandi dkk., 2024).

Keterbatasan yang terjadi dalam dunia pendidikan terutama dibidang teknik mesin salah satunya disebabkan oleh faktor ekonomi. Hal ini menyebabkan kurangnya fasilitas mahasiswa untuk melakukan praktikum. Keterbatasan mesin konvensional maupun CNC menjadikan mahasiswa tidak mendapatkan porsi praktikum yang cukup, sehingga mahasiswa terpaksa belajar hanya dari teori saja dan tidak mendapatkan praktikum yang memadai. Mesin frais konvensional memiliki kelemahan dari sisi ketergantungan terhadap operator dan konsistensi hasil pemesinan, sedangkan mesin CNC menawarkan

otomasi dan presisi tinggi namun dengan biaya pengadaan dan perawatan yang relatif tinggi. Oleh karena itu, diperlukan alternatif berupa sistem semi otomatis berbasis Arduino dan *motor stepper* yang mampu menjembatani kedua sistem tersebut memiliki fungsi dasar gerak tiga sumbu seperti CNC, tetapi dengan biaya dan kompleksitas lebih rendah. Proses pembelajaran akan lebih optimal apabila mahasiswa memperoleh pengalaman langsung melalui kegiatan praktikum, dan tujuan pembelajaran dapat tercapai secara maksimal jika proses belajar berlangsung efektif (Rohman & Lusiyana, 2017). Sehingga dibutuhkan alternatif alat yang mampu menghadirkan solusi dari permasalahan yang sedang terjadi.

Inovasi perancangan sistem kendali pada prototipe mesin frais mini ini memiliki konsep yang mirip dengan mesin frais. Mesin ini dilengkapi dengan 3 sumbu yaitu sumbu X, Y, dan Z sebagai sumbu utamanya. Dengan dimensi yang lebih ringkas, mesin ini dapat ditempatkan di ruang laboratorium pendidikan tanpa memerlukan area luas, sekaligus mengurangi biaya investasi yang menjadi kendala utama. Sebagai upaya untuk merancang dan membangun mesin yang efisien dan terjangkau maka penggunaan bor tangan dipilih sebagai alternatif. Alat bor tangan sendiri merupakan mesin bor berukuran kecil yang dikendalikan langsung dengan tangan (Supriyono & Mulyanto, 2020). Pemilihan bor tangan sendiri dikarenakan bor tangan memiliki sistem kerja yang mirip dengan mesin frais yaitu merekam mata pisau. Selain itu pembahasan mengenai studi dan pengembangan mesin frais menggunakan bor tangan masih terbatas.

Mesin ini dirancang dengan menggunakan 3 sumbu yaitu X, Y, dan Z. Masing masing dari sumbu digerakkan dengan gerak semi otomatis. Semi otomatis dapat dimaknai sebagai penerapan mesin atau komputer untuk menggantikan sebagian pekerjaan manusia (Lestari, 2014). Penggunaan *motor stepper* pada tiap sumbu juga memungkinkan pengaturan posisi yang lebih stabil dan terkontrol dibandingkan pengoperasian manual. Untuk mewujudkan hal tersebut, digunakan mikrokontroler Arduino sebagai pusat kendali yang mengatur pergerakan *motor stepper* pada setiap sumbu. Arduino dipilih karena memiliki fleksibilitas, kemudahan dalam pemrograman, sehingga mampu menjadi solusi praktis dan ekonomis dalam penerapan sistem semi otomatis pada prototipe mesin frais mini ini.

Pada penelitian Ahfandi dkk., (2024) yang berjudul “*Replacement Mesin Frais WMD-25VL Penggerak Konvensional Menjadi Penggerak Otomatis Menggunakan Motor stepper NEMA 23 3A dan Limit Switch ME-8108*” menyatakan bahwa Mesin frais konvensional mampu menyelesaikan pekerjaan dengan benda kerja yang rumit dan kompleks. Namun, mesin frais konvensional mempunyai kelemahan yaitu hasil produk bergantung pada operator yang mengerjakannya. Sedang pada penelitian Wanggara dkk., (2020) yang berjudul “*Rancang Bangun Mesin CNC Engraving 3 Axis Berbasis Arduino UNO Dengan GRBL Software*” menyatakan teknologi CNC memiliki sejumlah kekurangan yang menjadi tantangan tersendiri dalam penerapannya. Peralatan yang digunakan



CNC cenderung relatif tinggi, membutuhkan waktu khusus untuk membuat program, serta memerlukan tenaga ahli yang terlatih dalam proses perawatan maupun perbaikan. Selain itu, biaya perbaikan jika terjadi kerusakan juga cukup tinggi karena harus ditangani teknisi khusus. Keterbatasan tersebut membuat CNC sulit dijangkau terutama pada lingkungan pendidikan yang memiliki keterbatasan anggaran.

Dari kedua penelitian tersebut terlihat bahwa penggunaan mesin frais konvensional memiliki ketergantungan tinggi terhadap keterampilan operator sehingga kualitas hasil penyayatan permukaan tidak selalu konsisten, sedangkan penggunaan mesin CNC meski mampu menghasilkan presisi tinggi membutuhkan biaya pengadaan dan perawatan yang cukup besar sehingga sulit dijangkau oleh lingkungan dengan sumber daya terbatas (Munandar, 2020). Kondisi ini menunjukkan adanya ruang untuk menghadirkan alternatif sistem yang lebih sederhana, terjangkau, namun tetap memiliki kendali gerak yang lebih stabil dibandingkan mesin konvensional. Oleh karena itu, perancangan sistem gerak semi otomatis prototipe mesin frais mini dengan memanfaatkan mesin bor tangan sebagai sumber gerak spindle menjadi solusi potensial untuk menjembatani kedua kondisi tersebut. Sistem ini dirancang menyerupai prinsip kerja mesin frais dalam hal pergerakan sumbu dan penyayatan, namun dengan komponen yang lebih sederhana serta biaya yang lebih rendah, sehingga dapat menghasilkan proses pemakanan permukaan yang lebih terkendali dibandingkan pengoperasian manual tanpa harus menggunakan teknologi CNC yang kompleks dan mahal.

Dari latar belakang di atas, perlu dirancang alternatif sistem gerak berbasis mikrokontroler Arduino yang lebih sederhana dan tidak terintegrasi langsung dengan program CNC, sehingga dapat menekan biaya, mempermudah pengoperasian, dan memberikan pengalaman praktis dalam pembelajaran sistem gerak pada prototipe mesin frais mini ini. Penelitian ini difokuskan pada pengembangan sistem gerak semi otomatis menggunakan *motor stepper* pada sumbu X, Y, dan Z yang dikendalikan mikrokontroler Arduino, dengan harapan dapat menjadi alternatif untuk melakukan proses penyayatan pada benda kerja yang ekonomis, efisien, serta bermanfaat sebagai media pembelajaran di lingkungan pendidikan.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Sistem Kendali

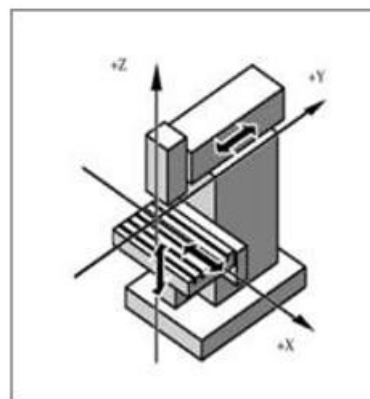
Sistem kendali merupakan suatu susunan komponen yang saling berinteraksi untuk mengatur, mengarahkan, dan mengendalikan suatu proses agar menghasilkan keluaran sesuai dengan nilai yang diinginkan. Prinsip dasar sistem kendali meliputi proses pengukuran, perbandingan, dan perhitungan terhadap kondisi aktual dengan nilai referensi yang telah ditetapkan. Berdasarkan mekanisme kerjanya, sistem kendali dibedakan menjadi dua jenis, yaitu sistem kendali terbuka (*open loop control system*) dan sistem kendali tertutup (*closed loop control system*) (Mahmoud, 2018).

Pada sistem kendali terbuka, keluaran tidak memengaruhi proses pengendalian karena tidak terdapat mekanisme umpan balik. Sebaliknya, sistem kendali tertutup menggunakan sinyal umpan balik dari keluaran aktual untuk dibandingkan dengan nilai referensi sehingga mampu meningkatkan akurasi dan kestabilan sistem. Dalam implementasi modern, sistem kendali banyak diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti Arduino karena mudah diprogram, ekonomis, dan mendukung berbagai aplikasi otomasi (Hadiyan, 2021).

### Sistem Gerak Tiga Sumbu (X, Y, dan Z)

Sistem gerak tiga sumbu merupakan mekanisme pergerakan yang umum digunakan pada mesin frais (*milling machine*) maupun mesin CNC. Sistem ini terdiri atas gerakan horizontal pada sumbu X, gerakan melintang pada sumbu Y, dan gerakan vertikal pada sumbu Z. Kombinasi ketiga sumbu tersebut memungkinkan pahat atau meja kerja bergerak secara presisi sesuai lintasan yang telah ditentukan (Siemens AG, 2013).

Pada pengembangan mesin frais mini, pergerakan setiap sumbu umumnya digerakkan oleh motor stepper karena memiliki kemampuan menghasilkan gerakan yang presisi berdasarkan jumlah pulsa yang diberikan. Motor stepper mengubah pulsa listrik menjadi gerakan mekanis bertahap sehingga posisi dapat dikontrol dengan akurat tanpa memerlukan sistem umpan balik yang kompleks. Penggunaan motor stepper sangat sesuai untuk aplikasi otomasi skala kecil dan sistem pembelajaran berbasis mikrokontroler (Timothy Wijaya dkk., 2024).



Gambar 1. Gerak 3 Sumbu Pada Mesin Frais

### Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengedit, mengompilasi, dan mengunggah program ke papan Arduino. Perangkat lunak ini dikembangkan menggunakan bahasa Java dan mendukung bahasa pemrograman berbasis C yang telah disederhanakan sehingga mudah dipelajari oleh pengguna. Arduino IDE menyediakan berbagai fitur seperti verifikasi program, unggah kode, serial monitor, serta pengelolaan pustaka (*library*) yang mendukung pengembangan sistem kendali berbasis mikrokontroler (Andriana dkk., n.d.).



### Mikrokontroler Arduino UNO

Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer mini yang terintegrasi dalam satu chip dan dirancang untuk menjalankan fungsi kendali tertentu. Berbeda dengan mikroprosesor pada komputer umum, mikrokontroler telah dilengkapi dengan memori, port input-output, dan perangkat pendukung lainnya dalam satu kesatuan sistem (Widiyanto, 2020).

Salah satu jenis mikrokontroler yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem kendali adalah Arduino UNO. Arduino UNO menggunakan mikrokontroler ATmega328P yang memiliki 14 pin digital, 6 pin input analog, serta mendukung komunikasi serial melalui USB. Selain bersifat *open source*, Arduino UNO juga mudah diprogram dan memiliki kompatibilitas tinggi dengan berbagai sensor maupun aktuator, sehingga banyak digunakan dalam penelitian, pendidikan, dan pengembangan prototipe sistem otomatis (Sasmoko, 2021).

### Driver Motor dan Motor Stepper

Motor stepper merupakan aktuator elektromekanik yang mengubah pulsa listrik menjadi gerakan putar bertahap. Setiap pulsa yang diterima akan menghasilkan perubahan posisi sudut tertentu sehingga motor stepper mampu memberikan tingkat presisi yang tinggi. Oleh karena itu, motor stepper banyak digunakan pada mesin CNC, printer 3D, robotika, dan sistem gerak otomatis lainnya (Timothy Wijaya dkk., 2024).

Dalam pengoperasiannya, motor stepper memerlukan driver motor sebagai penguat sinyal kontrol dari mikrokontroler. Salah satu driver yang banyak digunakan adalah TB6600 yang mampu mengatur arah putaran, jumlah langkah, dan kecepatan motor secara stabil. Kombinasi Arduino UNO, driver TB6600, dan motor stepper memungkinkan terbentuknya sistem gerak tiga sumbu yang sederhana, ekonomis, dan memiliki tingkat akurasi yang baik.

### Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan Arduino UNO dan motor stepper mampu meningkatkan akurasi sistem gerak pada mesin CNC dan mesin frais mini. Aziz dan Saraswati (2022) menyatakan bahwa optimasi parameter gerak pada mesin CNC milling tiga sumbu dapat meningkatkan efisiensi waktu produksi. Sementara itu, penelitian Timothy Wijaya dkk. (2024) menunjukkan bahwa motor stepper mampu menghasilkan pergerakan yang presisi untuk aplikasi sistem gerak otomatis. Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, penggunaan sistem kendali berbasis Arduino UNO pada prototipe mesin frais mini menjadi alternatif yang efektif untuk mendukung proses pembelajaran dan pengembangan teknologi manufaktur skala kecil.

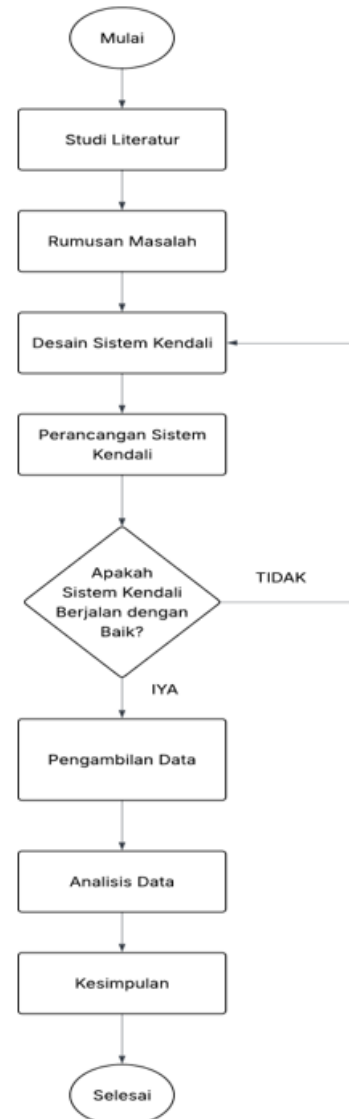
### METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode **Research and Development (R&D)** yang bertujuan untuk merancang, mengembangkan, dan menguji kinerja sistem gerak semi otomatis berbasis Arduino pada prototipe mesin frais mini.

Metode R&D dipilih karena penelitian tidak hanya menghasilkan produk berupa sistem kendali, tetapi juga mengevaluasi efektivitas dan kinerja sistem yang telah dikembangkan (Sugiyono, 2013).

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium D4 Teknik Mesin Fakultas Vokasi Universitas Negeri Surabaya pada periode September 2025 hingga Februari 2026. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, perancangan sistem kendali, perakitan perangkat keras, pemrograman mikrokontroler, pengujian sistem, pengolahan data, dan analisis hasil.

Sistem gerak semi otomatis yang dikembangkan terdiri atas Arduino UNO sebagai pengendali utama, motor stepper NEMA23 sebagai aktuator pada sumbu X, Y, dan Z, driver motor TB6600 sebagai penguat sinyal pengendali, power supply sebagai sumber daya, serta push button sebagai perangkat input. Perancangan sistem diawali dengan penyusunan blok diagram dan wiring diagram untuk menggambarkan hubungan antar komponen, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan desain mekanik menggunakan perangkat lunak CAD.

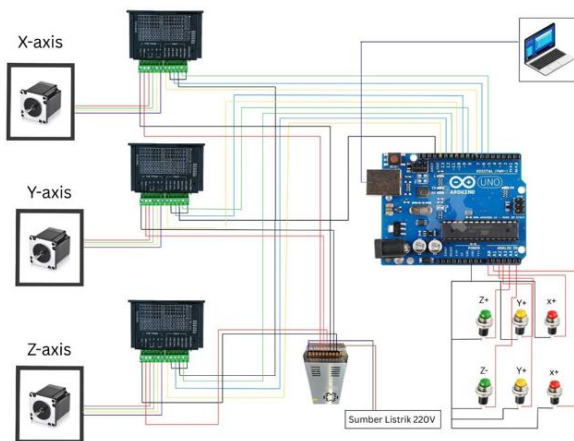


Gambar 2. Kerangka Penelitian



Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi jarak perpindahan meja eretan pada sumbu X, Y, dan Z yang dikendalikan melalui program Arduino. Variabel terikat berupa akurasi perpindahan posisi aktual terhadap jarak yang diperintahkan. Sementara itu, variabel kontrol meliputi penggunaan motor stepper NEMA23, Arduino UNO, material uji nilon (polyethylene), kedalaman pemakanan 4 mm dan 8 mm, kecepatan pemakanan 75 mm/menit pada sumbu X dan Y, serta 25 mm/menit pada sumbu Z, dan penggunaan pahat endmill HSS berdiameter 8 mm.

Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi perintah perpindahan pada masing-masing sumbu, kemudian mengukur hasil perpindahan aktual yang dihasilkan sistem. Data yang diperoleh dianalisis dengan membandingkan nilai perpindahan aktual terhadap nilai perpindahan yang diprogram untuk menentukan tingkat akurasi sistem gerak. Hasil pengujian selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan proses evaluasi kinerja sistem.



**Gambar 3.** Wiring Diagram

Melalui metode tersebut, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan sistem gerak semi otomatis berbasis Arduino yang memiliki tingkat akurasi dan kestabilan yang baik sehingga dapat diterapkan pada prototipe mesin frais mini untuk kebutuhan pembelajaran maupun pengembangan teknologi manufaktur skala kecil.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem gerak semi otomatis berbasis Arduino UNO pada prototipe mesin frais mini berhasil direalisasikan dan berfungsi sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Sistem terdiri atas Arduino UNO sebagai pengendali utama, driver motor TB6600 sebagai penguat sinyal, motor stepper NEMA23 sebagai aktuator, serta mekanisme leadscrew sebagai penerus gerak linear pada sumbu X, Y, dan Z. Integrasi seluruh komponen menghasilkan sistem yang mampu menjalankan pergerakan secara terkontrol berdasarkan program yang ditanamkan pada mikrokontroler.

Berdasarkan hasil perancangan, sistem kendali mampu menerjemahkan input dari push button menjadi perintah gerakan pada masing-masing sumbu. Arduino UNO mengirimkan sinyal pulsa dan arah putaran ke driver motor TB6600 yang kemudian menggerakkan motor stepper sesuai jumlah langkah yang telah diprogram. Sistem ini memungkinkan perpindahan posisi meja kerja secara otomatis tanpa pengoperasian manual pada handwheel sehingga meningkatkan kemudahan penggunaan.

Perhitungan jumlah pulsa menunjukkan bahwa motor stepper memiliki resolusi gerak yang cukup tinggi. Dengan motor stepper 200 step/putaran, konfigurasi microstepping 1/8, dan leadscrew dengan pitch 2 mm, diperoleh kebutuhan sebesar 800 step/mm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa setiap perpindahan 1 mm membutuhkan 800 pulsa dari Arduino sehingga sistem memiliki potensi akurasi yang baik.

**Tabel 1.** Hasil Perhitungan Resolusi Gerak Sistem

Parameter	Nilai
Step motor	200 step/putaran
Microstepping	1/8
Pitch leadscrew	2 mm
Jumlah step/mm	800 step/mm
Resolusi teoritis	0,00125 mm/step

Perhitungan daya dan torsi menunjukkan bahwa kebutuhan daya terbesar terdapat pada sumbu Y karena memiliki beban paling besar dibandingkan sumbu lainnya. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa gaya yang bekerja pada sumbu Y mencapai 74,48 N dengan kebutuhan torsi sebesar 0,446 Nm dan daya sebesar 14,00 Watt. Sementara itu, kebutuhan daya pada sumbu X dan Z masing-masing sebesar 5,65 Watt dan 6,81 Watt.

**Tabel 2.** Hasil Perhitungan Torsi dan Daya Motor Stepper

Sumbu	Beban (kg)	Gaya (N)	Torsi (Nm)	Daya (W)
X	3,10	30,38	0,18	5,65
Y	7,60	74,48	0,446	14,00
Z	3,70	36,26	0,217	6,81

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, seluruh kebutuhan torsi masih berada di bawah kapasitas maksimum motor stepper NEMA23 yang digunakan, yaitu sekitar 1,89 Nm. Dengan demikian, motor memiliki kemampuan yang cukup untuk menggerakkan sistem pada ketiga sumbu tanpa mengalami kehilangan langkah (*lost step*) selama beban kerja masih berada dalam batas perancangan.

Tahap perakitan menunjukkan bahwa integrasi antara komponen mekanik dan sistem kendali dapat dilakukan dengan baik. Dudukan motor yang dibuat dari baja SS400 mampu menopang motor stepper dengan kokoh. Penggunaan flexible coupling juga membantu mengurangi efek ketidaksejajaran poros motor dengan leadscrew sehingga getaran selama operasi dapat diminimalkan. Hal ini berpengaruh terhadap kestabilan gerak dan umur pakai komponen transmisi.



Pada tahap instalasi sistem kelistrikan, seluruh komponen berhasil terhubung sesuai wiring diagram yang telah dirancang. Arduino UNO mampu mengirimkan sinyal kontrol secara stabil ke driver TB6600, sedangkan power supply mampu menyuplai kebutuhan daya motor tanpa terjadi penurunan tegangan yang signifikan. Pengujian awal menunjukkan bahwa motor stepper dapat berputar sesuai arah yang diperintahkan dan menghasilkan gerakan linear pada setiap sumbu.

Pengujian fungsi sistem dilakukan dengan memberikan beberapa variasi perpindahan posisi pada masing-masing sumbu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mencapai posisi yang diperintahkan dengan tingkat kesalahan yang relatif kecil. Perbedaan antara jarak perintah dan jarak aktual terutama dipengaruhi oleh backlash pada leadscrew, kelonggaran sambungan mekanis, serta getaran selama proses pergerakan.

**Tabel 3.** Contoh Hasil Pengujian Akurasi Perpindahan

Jarak Perintah (mm)	Jarak Aktual (mm)	Selisih (mm)	Error (%)
50	49,85	0,15	0,30
100	99,72	0,28	0,28
150	149,56	0,44	0,29
200	199,35	0,65	0,33

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem gerak semi otomatis berbasis Arduino UNO yang dikembangkan mampu bekerja dengan baik pada prototipe mesin frais mini. Sistem memiliki tingkat akurasi yang memadai untuk kebutuhan pembelajaran dan praktikum di laboratorium. Meskipun masih terdapat keterbatasan berupa backlash mekanis dan kekakuan struktur yang belum optimal, sistem ini telah berhasil menunjukkan prinsip kerja mesin frais semi otomatis dengan biaya yang relatif rendah, mudah dioperasikan, dan dapat dikembangkan lebih lanjut menuju sistem CNC skala kecil.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian yang telah dilakukan, sistem gerak semi otomatis berbasis Arduino UNO pada prototipe mesin frais mini berhasil direalisasikan sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem yang terdiri atas Arduino UNO, driver motor TB6600, motor stepper NEMA23, leadscrew, dan power supply mampu bekerja secara terintegrasi untuk menghasilkan pergerakan linear pada sumbu X, Y, dan Z.

Hasil perancangan menunjukkan bahwa Arduino UNO mampu berfungsi sebagai pusat kendali yang mengatur arah dan jumlah langkah motor stepper melalui driver TB6600. Sistem yang dikembangkan dapat menerima perintah melalui push button dan menerjemahkannya menjadi gerakan mekanis yang terkontrol pada masing-masing sumbu. Dengan demikian, prototipe mampu menggambarkan prinsip kerja dasar sistem kendali semi otomatis pada mesin frais.

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai resolusi gerak sebesar 800 step/mm dengan konfigurasi motor

stepper 200 step/putaran, microstepping 1/8, dan leadscrew berpitch 2 mm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan menghasilkan perpindahan yang cukup presisi sehingga sesuai untuk kebutuhan pembelajaran dan pengujian sistem gerak berbasis mikrokontroler.

Perhitungan daya dan torsi menunjukkan bahwa kebutuhan torsi terbesar terjadi pada sumbu Y sebesar 0,446 Nm dengan daya 14,00 Watt, sedangkan pada sumbu X dan Z masing-masing sebesar 0,18 Nm dan 0,217 Nm. Seluruh kebutuhan torsi masih berada di bawah kapasitas maksimum motor stepper NEMA23 sebesar 1,89 Nm, sehingga motor mampu menggerakkan seluruh sumbu dengan baik tanpa mengalami kehilangan langkah selama pengoperasian.

Hasil pengujian akurasi perpindahan menunjukkan bahwa sistem mampu mencapai posisi yang diperintahkan dengan tingkat kesalahan yang relatif kecil. Perbedaan antara jarak perintah dan jarak aktual dipengaruhi oleh faktor mekanis seperti backlash leadscrew, kelonggaran sambungan, dan kekakuan struktur mesin. Meskipun demikian, tingkat akurasi yang diperoleh masih tergolong baik untuk prototipe mesin frais mini semi otomatis.

Secara keseluruhan, sistem gerak semi otomatis berbasis Arduino UNO yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat berfungsi dengan baik, ekonomis, mudah dioperasikan, dan layak digunakan sebagai media pembelajaran sistem kendali, otomasi, serta dasar pengembangan mesin frais semi otomatis maupun CNC skala kecil. Pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan menambahkan sensor umpan balik dan sistem kendali tertutup untuk meningkatkan akurasi serta performa sistem secara keseluruhan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Advanced Instructional Systems, I. and N. C. S. U. (2016). Percent Error and Percent difference. 8 November, 2, 2013.
- AHFANDI, A., Basuki, Fajar Satriya Hadi, & Mochamad Arif Irfa'i. (2024). Replacement Mesin Frais Wmd-25VI Penggerak Konvensional Menjadi Penggerak Otomatis Menggunakan Motor Stepper Nema 23 3a Dan Limit Switch Me-8108. *Jurnal MOTION (Manufaktur, Otomasi, Otomotif, Dan Energi Terbaru)*, 2(02), 9–17. <https://doi.org/10.33752/motion.v2i02.6133>
- Anam, N. (2025). Rancang Bangun Mesin CNC Router Portabel 3 Axis
- Andriana, R., Mulia, M., Tinggi, S., & Duta, T. (n.d.). Analisis Pengaturan Arah Putaran CW dan CCW Motor Stepper NEMA 23 dengan Sistem Manual dan Digital.
- Aziz, M., & Saraswati, R. (2022). Optimalisasi Parameter Mesin CNC Milling 3 Axis terhadap Waktu Produksi dengan Menggunakan Response Surface Methodology. *Formosa Journal of Applied Sciences*, 1(4), 293–304. <https://doi.org/10.55927/fjas.v1i4.1089>



- Berbasis Microcontroller Mach3 Breakout Board dan Microstep Motor Driver
- Budi Cahyo Wibowo. (2021). Stepper Motor Speed Control Using Start-Stop Method Based On PLC. 10(3), 213–220.
- Choirony, I. V., Hariyanto, M. S., Ulum, M., Ubaidillah, A., Haryanto, H., & Alfita,
- E Darie. (2021). Speed Control of the Direct Current Servomotor and the Stepper Motor with Arduino UNO Platform Speed Control of the Direct Current Servomotor and the Stepper Motor with Arduino UNO Platform. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/664/1/012055>
- Ghifari, T. (2022). Rancang Bangun Mesin Cnc Mini Pen Plotter Dua Axis Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno.
- Hadiyan, F. (2021). Perancangan dan Implementasi Sistem Kendali untuk Rotary Pendulum dengan Kontroller PID Menggunakan SCILAB-ARDUINO. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v18i1.12781>  
[https://ejournal.up45.ac.id/index.php/Jurnal\\_ENGINE/article/view/769](https://ejournal.up45.ac.id/index.php/Jurnal_ENGINE/article/view/769)
- Lestari, D. (2014). Penerapan Sistem Semi Otomasi Pada Layanan. <https://www.statisticshowto.com/percent-error-difference/>
- Jibril, R. (2025). Rancang bangun wiring dan program untuk sistem kendali pada motor stepper. 6(2), 140–150.
- Kalatiku Yuri Yudhaswana, P. P. J. (2011). Pemrograman Motor Stepper Dengan Menggunakan Bahasa Pemrograman C. Mektek, Vol 13, No 1 (2011). <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/Mektek/article/view/562>
- Khairudin, M., Asnawi, R., & Shah, A. (2020). The characteristics of tb6600 motor driver in producing optimal movement for the nema23 stepper motor on CNC machine. *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 18(1), 343–350.
- Kurniawan, E., Syaifurrahman, & Jekky, B. (2020). Rancang Bangun Mesin CNC Lathe Mini 2 Axis. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 4(2), 83–90.
- Mahmoud, M. S. (2018). Advanced control design with application to electromechanical systems. In *Advanced Control Design with Application to Electromechanical Systems* (pp. 1–388). <https://doi.org/10.1016/C2017-0-01134-5>
- Maslian, A. T. (2024). Mesin Milling Papan PCB. 1–40. <http://repository.polman-babel.ac.id/id/eprint/1185/1>
- Menggunakan CNC Milling 3 Axis Berbasis Mikrokontroler. *Elektrika*, 13(1),
- Menggunakan Perangkat Lunak MACH-3 Tugas Akhir Fakultas Vokasi.
- Muhammad Rizqi Aulia Hasibuan. (2019). Rancang Bangun Mesin CNC Milling
- Munandar. (2020). Efektivitas Kinerja Mesin CNC 5 Axis Portable Karya Mahasiswa Terhadap Mesin Milling Konvensional.
- Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan (SNITP), 1–9.
- Pada Orbital Welding Menggunakan Perangkat Lunak LabVIEW. 47–56.
- R. (2021). Rancang Bangun Acrylic Engraver and Cutting Machine
- Riski, M. D. (2019). Rancang Alat Lampu Otomatis Di Cargo Compartment Pesawat Berbasis Arduino Menggunakan Push button Switch Sebagai Pembelajaran Di Politeknik Penerbangan Surabaya (udah). *Prosiding Seminar*
- Salam, A. (2023). Pengembangan Desain Mesin CNC. 9(1), 452–459.
- Sasmoko, D. (2021). Arduino dan Sensor pada Project Arduino DIY. In *Semarang: Penerbit Yayasan Prima Agus Teknik*.
- Setiawan, B., & Djunaedi, T. (2020). Rancang Bangun Mesin CNC Router Portabel dengan Dimensi 1219 × 609 MM untuk Skala Laboratorium 22.
- Siemens AG. (2013). *Sinumerik 808D Advanced Programming and Operating Manual (Milling) User Manual*. 1–245.
- Sugiyono, D. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan Tindakan*.
- Suhendro, B., & Antoro, L. M. (2020). Sistem Kendali Penggerak Motor Stepper
- Supriyono, & Mulyanto, T. (2020). Rancang Bangun Alat Penyanga Mesin Bor Tangan. *Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Rekayasa*, 25(3), 213–222. <https://doi.org/10.35760/tr.2020.v25i3.3510>
- Suryati, Misriana, Fauziah, A., & Mellyssa, W. (2019). Pengaturan Gerakan Translasi Menggunakan Motor Stepper. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 3(1), 89–94. <http://ejournal.pnl.ac.id/semnaspnl/article/view/1671>
- SYAHRUL. (2016). Motor Stepper: Teknologi, Metoda dan Rangkaian Kontrol. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 26(5), 3310–3314. <https://doi.org/10.5504/bbeq.2012.0074>
- TB6600.
- Timothy Wijaya, H., Pangestu, D., Timothy Sutjipto, M., Surya Widjaja, W., Octavianus Bachri, K., & Nur, T. (2024). Simulasi Sistem Pengendalian Motor Stepper dengan Metode Pulse Width Modulation. *Jurnal Elektro*, 15(1), 21–
- Wanggara, A., Simatupang, P. G., & Azmi, F. (2020). *JESCE (Journal of Electrical and System Control Engineering)*. *Journal of Electrical and System Control Engineering (JESCE)*, 4(1), 11–17. <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jesce>
- Wibowo, R. A. (2019). Instrumentasi Kendali Mesin CNC Milling 5 Axis Portable
- Widiyanto, A. R. (2020). Prototipe Pembuatan CNC dengan Pemanfaatan Motor Stepper Berbasis Arduino UNO Alfin. *Jurnal Tektro*, 1–10.