



Rancang Bangun Mesin *CNC Painting* Berbasis *Mach 3*

Rudi Kristianto^{1*}, Y Astomo DS², Chatarina Adjeng Aprilliasari³, Benedictus Bimo Kurniawan⁴, Dionicius Wijang Fenandy Esa⁵, Muhammad Rosyid Wijaya⁶, Reza Andhika Sudiyoko⁷

^{1,3,4,5,6,7} Program Studi Teknik Mekatronika, Politeknik ATMI Surakarta

²Program Studi Teknik Perancangan Mekanik dan Mesin, Politeknik ATMI Surakarta

¹ rudi.kristianto@atmi.ac.id *

Abstract

This study presents the design and development of a CNC Painting machine based on Mach3 software, aimed at enabling automated Painting processes with controlled and uniform results. The project was motivated by the need for a system that can replace manual Painting methods, reduce operator dependency, and ensure consistent coating quality. The methodology involved the mechanical design of the X, Y, and Z axes, the integration of a pneumatic system to actuate the spray gun trigger, and the implementation of a Mach3-based control system to regulate stepper motor movements according to programmed trajectories. Comprehensive testing was conducted on all subsystems, including mechanical axis motion and spray functionality. The experimental results demonstrate that the machine is capable of operating across all axes and performing Painting tasks effectively. The pneumatic trigger mechanism responded reliably to program commands, enabling fully automated Painting operations. In conclusion, the CNC Painting machine developed in this project successfully achieved its intended function and shows potential for applications requiring repetitive Painting tasks with consistent outcomes.

Keywords: CNC Machine, Painting, Control Mach3, Automation, Pneumatic system

Abstrak

Penelitian ini membahas proses perancangan dan pembangunan mesin *CNC Painting* berbasis *Mach3* yang ditujukan untuk membantu proses pengecatan secara otomatis dengan hasil yang terkontrol dan seragam. Latar belakang dari proyek ini adalah kebutuhan akan sistem pengecatan yang dapat menggantikan metode manual, mengurangi ketergantungan pada operator, serta menghasilkan kualitas pengecatan yang konsisten. Metode yang digunakan meliputi perancangan struktur mekanik pada sumbu X, Y, dan Z, pemasangan sistem pneumatik yang difungsikan sebagai penarik pelatuk *spray gun* dalam proses pengecatan, serta integrasi sistem kontrol berbasis perangkat lunak *Mach3* untuk mengatur pergerakan motor *stepper* sesuai jalur gerak yang telah diprogram. Pengujian dilakukan terhadap seluruh bagian sistem, termasuk pengujian mekanik pergerakan tiap sumbu dan pengujian fungsi sistem *spray*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin mampu bergerak pada setiap sumbu dan menjalankan proses pengecatan. Mekanisme penarikan pelatuk melalui pneumatik bekerja secara responsif sesuai perintah program, sehingga proses pengecatan dapat berlangsung otomatis. Kesimpulannya, mesin *CNC Painting* yang dirancang dalam proyek ini berhasil menjalankan fungsi pengecatan otomatis sesuai dengan rancangan, dan berpotensi untuk diterapkan dalam kebutuhan pengecatan berulang dengan hasil yang konsisten.

Kata kunci: Mesin *CNC*, Pengecatan, *Mach3*, Pengecatan otomatis, sistem Pneumatik

1. Pendahuluan

Industri manufaktur dan seni dekoratif semakin menuntut adanya sistem pengecatan yang konsisten, efisien, dan mampu menggantikan metode manual yang sering menghasilkan kualitas

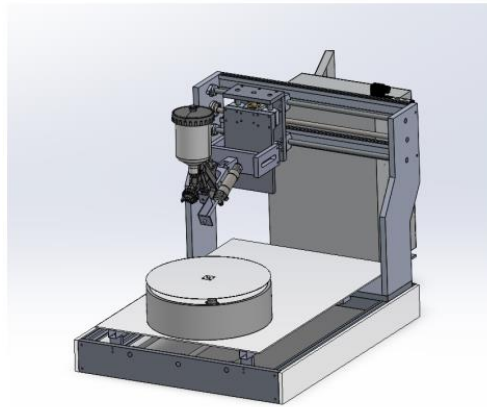
tidak seragam. Upaya otomatisasi dalam bidang pengecatan telah banyak dikembangkan, salah satunya melalui robot pengecat seperti *RoboPainter* yang dirancang untuk aplikasi interior [1], [2]. Di sisi lain, perkembangan teknologi

Computer Numerical Control (CNC) telah menjadi solusi utama dalam otomasi proses produksi, termasuk pada sistem berbasis *cartesian* yang digunakan dalam perancangan mesin *3D printer* maupun *CNC* edukatif [3], [4], [5]. Penerapan *CNC Painting* berbasis perangkat lunak *Mach3* memberikan fleksibilitas dalam pengendalian gerakan sumbu X, Y, dan Z, serta memungkinkan integrasi dengan aktuator tambahan seperti sistem pneumatik [3]. *Mach3* sendiri telah terbukti efektif dalam mengendalikan mesin *CNC* dengan biaya rendah, sehingga sesuai untuk kebutuhan industri kecil dan menengah [2], [4]. Dalam konteks pengecatan otomatis, penggunaan aktuator pneumatik sebagai pemicu *spray gun* terbukti mampu meningkatkan responsivitas sistem dan kualitas hasil semprotan [6], [7]. Selain itu, komponen mekanik seperti *rotary table* berperforma tinggi juga berperan penting dalam mendukung presisi gerakan multi-sumbu pada sistem *CNC Painting* [1], [8]. Optimalisasi parameter pengecatan melalui otomasi *CNC* telah diteliti untuk menghasilkan kualitas lapisan cat yang lebih merata dan stabil [9]. Evaluasi akurasi sistem multi-sumbu juga menjadi aspek penting dalam memastikan hasil pengecatan sesuai dengan rancangan digital[10].

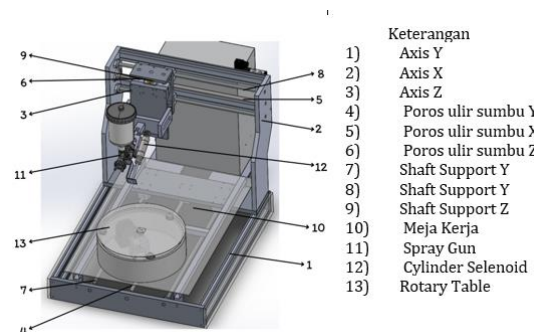
Berdasarkan beberapa rujukan dan penelitian terdahulu, penelitian ini berfokus pada rancang bangun mesin *CNC Painting* berbasis *Mach3* yang mengintegrasikan sistem mekanik tiga sumbu, aktuator pneumatik, serta *rotary table* untuk mendukung proses pengecatan otomatis. Tujuan utama penelitian adalah menghasilkan sistem pengecatan yang konsisten, efisien, dan dapat diterapkan baik dalam konteks industri kreatif maupun pendidikan vokasi.

2. Metode Penelitian

Metode pembuatan mesin *CNC Painting* berbasis *Mach3* dilakukan dengan mereplikasi proses pengecatan secara konsisten untuk mencapai hasil visual yang baik. Proses dimulai dari analisis kebutuhan sistem dan perancangan aspek mekanik, elektronik, serta kontrol. Selanjutnya, sistem diimplementasikan dan diuji melalui pemantauan pergerakan sumbu, durasi pengecatan, serta kualitas dan ketebalan cat. Pengujian berulang dilakukan untuk menentukan parameter optimal guna memastikan hasil pengecatan yang seragam dan berkualitas. Desain konstruksi mesin dan bagian-bagian nya ditunjukkan pada gambar 1 dan 2.



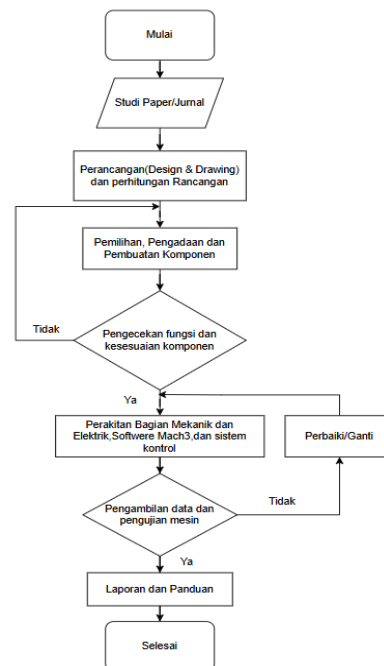
Gambar 1. Desain konstruksi mesin *CNC Painting*



Gambar 2. Konstruksi Mesin *CNC Painting*

2.1. Tahap Penelitian

Metode pengerjaan dilakukan dengan beberapa tahapan yang ditunjukkan pada *flowchart* di gambar 3:



Gambar 3. Diagram Alir Rancang bangun Mesin

2.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur, observasi langsung, dan diskusi teknis. Studi literatur mencakup penelusuran sumber terkait sistem *CNC*, kontrol *Mach3*, dan teknologi pneumatik. Observasi dilakukan terhadap kondisi lapangan dan perangkat *CNC* yang tersedia untuk memperoleh data teknis sebagai acuan rancangan. Diskusi dengan dosen pembimbing dan praktisi otomasi membantu dalam merumuskan batasan masalah, kebutuhan sistem, serta validasi awal desain mesin *CNC Painting* berbasis *Mach3*.

2.3. Pembuatan Matriks Kebutuhan

Tahap pembuatan matriks kebutuhan seperti tampak pada Tabel 1, mencakup perancangan aspek mekanik, sistem penggerak, serta pengaturan kendali menggunakan perangkat lunak *Mach3*. Data yang diperlukan mencakup karakteristik teknis dan fungsi-fungsi utama yang dibutuhkan untuk menunjang kinerja sistem pengecatan otomatis secara stabil dan konsisten.

Tabel 1. Matriks Kebutuhan

Permintaan	Solusi	Spesifikasi Teknis	Otomatisasi dengan sistem <i>rotary table</i> .	Penambahan <i>rotary table</i> pada mesin <i>CNC Painting</i> .	Konfigurasi mekanik <i>worm gear</i> serta motor <i>stepper</i> untuk mengontrol Axis A (CW/CCW), yang terintegrasi dengan <i>Mach3</i> .
Optimalisasi desain mekanik struktur mesin <i>CNC</i> .	Menggunakan konstruksi aluminium dengan struktur yang kokoh dan ringan untuk menjaga kestabilan dan kekuatan saat pengecatan.	Rangka berbahan aluminium, yang mampu mendukung sistem 3 axis.	Optimalisasi jalur wiring dan penempatan komponen.	Penyusunan wiring dengan kabel <i>duct</i> dan panel <i>box</i> agar dapat dirapikan serta aman.	Kabel tertata rapi dalam kabel <i>duct</i> , semua modul <i>driver PSU</i> , <i>MCB</i> dan sebagainya terpasang dalam satu panel <i>box</i>
Otomatisasi sistem pengecatan menggunakan <i>spray</i> .	Penambahan sistem <i>spray gun</i> yang dikendalikan secara otomatis.	Sistem pneumatik dengan pelatuk untuk aktivasi <i>spray gun</i> serta penggunaan <i>solenoid valve</i> yang terintegrasi dengan <i>Mach3</i> .	Integrasi sistem kontrol berbasis <i>Mach3</i> melalui komputer.	Menggunakan software <i>Mach3</i> dengan <i>G-Code</i> untuk mengatur pergerakan sumbu dan kontrol <i>spray</i> .	Kompatibel dengan software <i>Mach3</i> dengan menggunakan koneksi USB.
			Penambahan fitur penghentian darurat dan keamanan saat mesin bekerja.	Menambahkan tombol <i>Emergency Stop</i> dan sensor <i>limit switch</i> di setiap axis.	<i>Emergency Stop, Limit switch</i> pada sumbu X, Y, dan Z.

2.4. Tahap Pembentukan Prototipe

Tahap ini merupakan pembuatan prototipe awal mesin *CNC Painting* berbasis *Mach3* untuk menguji fungsionalitas sistem secara menyeluruh. Prototipe mencakup perakitan rangka, motor stepper, sistem kelistrikan, dan pneumatik pengecatan otomatis. Seluruh komponen dirakit sesuai desain, lalu diuji untuk memverifikasi kinerja awal sistem sebelum pengembangan lebih lanjut ke versi aplikatif.

2.5. Tahap Evaluasi

Tahap evaluasi dilakukan untuk menilai kinerja mesin *CNC Painting* berbasis *Mach3* dalam

menjalankan proses pengecatan otomatis. Evaluasi mencakup kelancaran gerak, konsistensi hasil pengecatan, respons sistem terhadap perintah *Mach3*, serta kestabilan koneksi elektronik dan fungsi pneumatik. Tujuannya adalah memastikan sistem bekerja optimal dan siap untuk pengembangan lebih lanjut.

2.6. Tahap Implementasi

Pada tahap implementasi, dilakukan proses perakitan dan pengujian dari sistem mesin *CNC Painting* berbasis *Mach3* yang telah dirancang sebelumnya. Proses implementasi mencakup beberapa langkah penting, antara lain pemasangan komponen mekanik, seperti rangka mesin, motor stepper, dan bracket *spray gun*, serta instalasi sistem kelistrikan seperti *Mcb*, *driver*, *power supply*, *relay*, dan *Mach3 USB controller* yang dipasang dalam satu panel box. Selanjutnya, dilakukan konfigurasi perangkat lunak *Mach3* untuk mengatur gerakan tiap sumbu dan mengintegrasikan *spray gun* ke dalam program *G-code*. Tahap ini juga mencakup uji fungsi awal, untuk guna memastikan semua komponen dapat berfungsi sesuai dengan skenario pengecatan yang diharapkan.

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan hasil penelitian yang diperoleh dari proses perancangan, perakitan, serta pengujian mesin *CNC Painting* berbasis *Mach3*. Hasil yang ditampilkan mencakup performa mekanik pada sumbu X, Y, dan Z, kinerja sistem pneumatik sebagai aktuator pelatuk *spray gun*, serta integrasi sistem kontrol berbasis perangkat lunak *Mach3*. Setiap pengujian dilakukan secara sistematis untuk mengevaluasi keandalan gerakan sumbu, konsistensi semprotan cat, dan respons sistem terhadap perintah program.

Pembahasan difokuskan pada analisis hubungan antara rancangan teknis dengan performa aktual mesin, termasuk kelebihan, keterbatasan, serta faktor-faktor yang memengaruhi kualitas hasil pengecatan. Dengan demikian, bagian ini tidak hanya menampilkan data hasil pengujian, tetapi juga memberikan interpretasi yang menjelaskan implikasi teknis dan potensi penerapan mesin *CNC Painting* dalam konteks industri maupun pendidikan vokasi.

3.1. Pengujian Fungsi Rangka Mesin *CNC Painting*
Proses pengerjaan ini dilakukan dengan cermat, mempertimbangkan kesimetrian sumbu X, Y, dan Z secara menyeluruh. Hal ini bertujuan untuk

memastikan bahwa kerangka atau struktur yang dikerjakan dapat bergerak tanpa ada gangguan dan hambatan. Setiap langkah pengerjaan perlu memperhatikan keseimbangan dan kesimetrian antar sumbu agar hasil akhirnya berfungsi dengan sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

Sumbu Z memiliki peran penting dalam mendukung pergerakan sistem *spray*, khususnya sebagai poros penggerak utama yang memungkinkan sistem *spray* bergerak naik dan turun secara stabil. Untuk memastikan kinerja yang optimal, kesimetrisan dan kesejajaran komponen pada sumbu Z sangat perlu diperhatikan agar pergerakan tetap stabil, dan bebas hambatan.

Telah dilakukan pengujian mekanik terhadap pergerakan Axis Z untuk mengevaluasi performa dan kestabilannya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pergerakan pada sumbu Z berlangsung dengan stabil, dan tanpa mengalami gangguan atau tersendat. Hal ini membuktikan bahwa sistem telah dirancang dengan baik dan mampu menjalankan fungsi secara baik sesuai dengan desain teknis yang telah ditentukan.

3.2. Pengujian Fungsi Komponen Kelistrikan

Pengecekan komponen dilakukan untuk memastikan semua komponen yang dimiliki dapat berfungsi dengan baik sebelum digunakan untuk melakukan wiring komponen.

Tabel 2. Data Pengujian Komponen

Komponen Kelistrikan	Pengecekan Komponen	Media Pengecekan	Hasil Pengujian
Saklar On-Off	Saklar dapat berfungsi dengan baik	<i>Multimeter</i>	Berfungsi
<i>MCB</i>	Kontak dapat berfungsi	Kabel <i>Power</i> dan <i>Multimeter</i>	Berfungsi
<i>Fuse</i>	Dapat berfungsi	<i>Multimeter</i>	Berfungsi
<i>PSU</i>	<i>PSU</i> berfungsi dengan baik	Kabel <i>Power</i> dan <i>Multimeter</i>	Berfungsi
	memberikan daya output 12v dan 30A		

<i>Motor Driver</i>	<i>Motor Driver</i> dapat berfungsi (lampu indikator)	Pengecekan Berfungsi secara visual	OFF, dan mampu menekan <i>spray gun</i> hingga cat keluar.																								
<i>Motor Stepper</i>	<i>Motor Stepper</i> dapat berputar	<i>Arduino</i> Berfungsi	Tabel 3. Pengujian <i>Cylinder</i> dan <i>Bracket</i>																								
<i>Mach3</i>	Kontroler berfungsi (lampu indikator), serta <i>input</i> 12V dan 0V berfungsi, dan <i>output</i> 5V dan 5 GND berfungsi dengan baik.	<i>Visual dan Multimeter</i> Berfungsi	<table> <tr> <th>Tekanan (bar)</th><th>Respon <i>Cylinder</i></th><th>Cat Keluar</th><th>Keterangan</th></tr> <tr> <td>2</td><td>Bergerak lemah</td><td>Ya</td><td>Menekan pelatuk,</td></tr> <tr> <td>3</td><td>Bergerak normal</td><td>Ya</td><td>Semprotan stabil tetapi kurang kuat</td></tr> <tr> <td>4</td><td>Bergerak normal</td><td>Ya</td><td>Semprotan optimal dan merata</td></tr> <tr> <td>5</td><td>Kuat</td><td>Ya</td><td>Menekan sangat kuat, melebihi spesifikasi <i>spray gun</i></td></tr> <tr> <td>6</td><td>Sangat kuat</td><td>Ya</td><td><i>Overpower</i>, tidak disarankan</td></tr> </table>	Tekanan (bar)	Respon <i>Cylinder</i>	Cat Keluar	Keterangan	2	Bergerak lemah	Ya	Menekan pelatuk,	3	Bergerak normal	Ya	Semprotan stabil tetapi kurang kuat	4	Bergerak normal	Ya	Semprotan optimal dan merata	5	Kuat	Ya	Menekan sangat kuat, melebihi spesifikasi <i>spray gun</i>	6	Sangat kuat	Ya	<i>Overpower</i> , tidak disarankan
Tekanan (bar)	Respon <i>Cylinder</i>	Cat Keluar	Keterangan																								
2	Bergerak lemah	Ya	Menekan pelatuk,																								
3	Bergerak normal	Ya	Semprotan stabil tetapi kurang kuat																								
4	Bergerak normal	Ya	Semprotan optimal dan merata																								
5	Kuat	Ya	Menekan sangat kuat, melebihi spesifikasi <i>spray gun</i>																								
6	Sangat kuat	Ya	<i>Overpower</i> , tidak disarankan																								
<i>Emergency Button</i>	Tombol dapat berfungsi dengan baik	<i>PSU</i> Berfungsi	Berdasarkan Tabel 3, pengujian dilakukan dengan memberikan tekanan yang bertahap dari 2-6 bar. Hasil pengujian menunjukkan pada saat tekanan 5 dan 6 bar <i>bracket</i> mengalami efek kejut yang berlebih sehingga pelatuk <i>spray gun</i> menarik secara berlebih mengakibatkan penekanan pelatuk terlalu dalam, sehingga tidak disarankan untuk penggunaan jangka panjang karena dapat merusak komponen <i>spray gun</i> dan <i>bracket</i> . Pada tekanan 4 bar, menghasilkan semprotan paling merata dan stabil, dengan gerakan <i>cylinder</i> yang masih aman untuk struktur <i>bracket</i> dan <i>spray gun</i> . Meskipun pada spesifikasi <i>spray gun</i> Taffware HVLP H2000 memiliki tekanan kerja yang direkomendasikan pada rentang 2,5-3,5 bar, namun dalam implementasinya menggunakan <i>cylinder</i> dan <i>bracket</i> , tekanan 4 bar justru menghasilkan cat yang lebih merata, stabil, dan konsisten. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor teknis seperti adanya beban tambahan seperti mekanisme <i>bracket</i> dan <i>cylinder</i> . Penggunaan tekanan 4 bar masih berada di batas atas tekanan maksimum <i>spray gun</i> dan aman untuk tekanan kerja dari <i>cylinder</i> Shako PC16B-75(Max 9,5 Bar) dan tidak menimbulkan kerusakan pada <i>spray gun</i> maupun sistem pneumatik secara keseluruhan.																								
<i>Limit Switch</i>	<i>Limit NC</i> ataupun <i>NO</i> berfungsi	<i>PSU dan Multimeter</i> Berfungsi																									

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 2, komponen yang telah diuji menunjukkan hasil bahwa semua komponen berfungsi dengan baik.

3.3. Pengujian *Cylinder* dan *Bracket* Sebagai Fungsi Pelatuk Otomatis

Proses Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa kombinasi aktuator *cylinder* pneumatik dan *bracket* dapat berfungsi sebagai pelatuk otomatis untuk menekan *spray gun*.

Uji dilakukan untuk melihat beberapa aspek:

- Pergerakan *cylinder*,
- Kekuatan tekanan untuk menarik pelatuk,
- Respon terhadap sinyal kontrol dari sistem

Metode pengujian:

1. *Cylinder* dihubungkan pada *bracket* yang terpasang pada tuas pelatuk *spray gun*.
2. Tekanan udara yang diberikan secara bertahap (2 bar, 3 bar, 4 bar, 5 bar, 6 bar).
3. Mengamati apakah *cylinder* bergerak dan menarik pelatuk, kembali ke posisi awal saat

3.4 Pengujian Fungsi Rangka Mesin CNC Painting

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi sudut rotasi dari *rotary table* saat dikendalikan oleh sistem *Mach3* dengan metode

perintah langkah (*step-based movement*). Dengan akurasi rotasi yang sesuai, sistem diharapkan mampu mencapai target sudut secara presisi untuk proses pengecatan yang tepat dan berulang. Adapun metode pengujian yang dilakukan, antara lain.

- Langkah Uji: *Rotary table* diberi perintah rotasi dengan sudut tertentu melalui *software Mach3* (misalnya 90°, 180°, 270°, dan 360°)
- Pengukuran: Menggunakan busur derajat manual yang ditempatkan di atas meja putar untuk mengukur pergeseran aktual.

Parameter yang Diamati:

- Selisih antara sudut perintah dan sudut aktual (*error*).
- Apakah terdapat *backlash* saat pergantian arah putaran.

Tabel 4. Pengujian akurasi pada *rotary table*

No	Sudut Perintah (°)	Sudut Aktual (°)	Selisih (°)	Keterangan
1	90	89	1	Terjadi deviasi sudut sebesar $\pm 1^\circ$
2	180	179	1	Terjadi deviasi sudut sebesar $\pm 1^\circ$
3	270	269	1	Terjadi deviasi sudut sebesar $\pm 1^\circ$
4	360	359	1	Terjadi deviasi sudut sebesar $\pm 1^\circ$
5	90 (dari CCW)	69	21	Terjadi <i>backlash</i> besar saat pergantian arah rotasi

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, mesin *CNC Painting* berbasis *Mach3* telah berfungsi dengan baik dan stabil. Pergerakan sumbu X, Y, dan Z berjalan lancar tanpa hambatan. Sistem semprot

menghasilkan sebaran cat yang merata, dan *rotary table* berputar dengan stabil tanpa panas berlebih. Komponen kelistrikan menunjukkan suhu dan arus yang tetap dalam kondisi aman. Secara keseluruhan, sistem bekerja terkoordinasi dengan baik dan mampu mendukung proses pengecatan secara konsisten.

Referensi

- [1] M. Sorour, “RoboPainter — A detailed robot design for interior wall *Painting*,” in *2015 IEEE International Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO)*, IEEE, Jun. 2015, pp. 1–6. doi: 10.1109/ARSO.2015.7428214.
- [2] Z. Abd Rahman, S. B. Mohamed, M. Minhat, and Z. Abd Rahman, “Design and Development of 3-Axis Benchtop *CNC* Milling Machine for Educational Purpose,” *International Journal of Integrated Engineering*, vol. 15, no. 1, Apr. 2023, doi: 10.30880/ijie.2023.15.01.013.
- [3] H. Setyawan, S. Sukardi, W. Rahayu, R. Risfendra, N. Jalinus, and J. Mardizal, “Impact of Using Electro-pneumatic Training Kit on Improving Industrial Control System Skills of Vocational High School Students,” *Journal of Vocational Education Studies*, vol. 8, no. 1, pp. 43–57, May 2025, doi: 10.12928/joves.v8i1.9449.
- [4] S. Rakasiwi and H. Kusumo, “*CNC* Machine Design (Computer Numeric Control) Mini Plotter For Arduino Based Souvenir Craft,” *Advance Sustainable Science Engineering and Technology*, vol. 4, no. 1, p. 0220102, May 2022, doi: 10.26877/asset.v4i1.11648.
- [5] M. E. Aktan, N. Akkuş, A. Yılmaz, and E. Akdoğan, “Design and Implementation of 3 Axis *CNC* Router for Computer Aided Manufacturing Courses,” *MATEC Web of Conferences*, vol. 45, p. 05002, Mar. 2016, doi: 10.1051/matecconf/20164505002.
- [6] Sneha.S and Krishna Kanth.S, “Automatic *Spray Painting* Machine,” *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, vol. 8, no. 6, Apr. 2019.
- [7] K. M. M. Dassanayake and M. Tsutsumi, “High Performance *Rotary Table* for Machine Tool Applications,” *International Journal of Automation Technology*, vol. 3,

- no. 3, pp. 343–347, May 2009, doi: 10.20965/ijat.2009.p0343.
- [8] M. D. Mulyawan, “RANCANG BANGUN KONSTRUKSI RANGKA MESIN 3D PRINTER TIPE CARTESIAN BERBASIS FUSED DEPOSITION MODELING (FDM),” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 6, no. 4, p. 252, Dec. 2017, doi: 10.22441/jtm.v6i4.2075.
- [9] K. V Chidhambara, B. Latha Shankar, and Vijaykumar, “Optimization of Robotic Spray Painting process Parameters using Taguchi Method,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 310, p. 012108, Feb. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/310/1/012108.
- [10] U. C. Das *et al.*, “Development of automatic CNC machine with versatile applications in art, design, and engineering,” *Array*, vol. 24, p. 100369, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.array.2024.100369.
-