

RANCANG BANGUN MESIN PEMOTONG *STYROFOAM* BERBASIS *CNC* 2 AXIS MENGUNAKAN *HOT WIRE*

Fahrizal, Muhammad Fikriatul Aslam, Nurhikmah Anwar, Ismindari, Andi Fitriati

Teknik Mekatronika, Politeknik Bosowa

Jl. Kapasa Raya, Tamalanrea, Kota Makassar, Sulawesi selatan

farizal.tmk19@student.politeknikbosowa.ac.id

Abstrak

Perkembangan industri kreatif dalam pembuatan dekorasi dari bahan *styrofoam* semakin pesat, kebutuhan mesin pemotong *styrofoam* otomatis berbasis *CNC* (*Computer Numerical Control*) 2 axis menggunakan *hot wire* dapat memudahkan proses pemotongan *styrofoam* dalam jumlah yang banyak dan seragam dengan pergerakan mesin pada sumbu X dan Y. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan membuat mesin pemotong *styrofoam* berbasis *CNC* yang dapat diprogram sehingga dapat memudahkan pemotongan *styrofoam* dalam jumlah yang banyak dan seragam dengan pergerakan di sumbu X dan Y. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental dimana proses pengolahan *G-Code* dikirimkan ke *software* yang kemudian menghasilkan gerakan 2 axis yaitu pada sumbu X dan Y. Kemudian proses pemotongan *styrofoam* dilanjutkan dengan menggunakan *hot wire* yang suhunya telah diatur menggunakan tegangan dan arus yang menghasilkan pemotongan *styrofoam* sesuai dengan ukuran *styrofoam* yang digunakan yaitu panjang 88 cm, tinggi 42 cm dengan ketebalan 2 cm dan tingkat akurasi yang didapatkan untuk sumbu X sebesar 99,84% dan sumbu Y sebesar 99,91%.

Kata kunci: *CNC, Styrofoam, Hot Wire, G-Code, Motor Stepper*

Abstract

The development of the creative industry in the manufacture of decorations from styrofoam materials is increasing rapidly, the need for a 2-axis CNC-based automatic styrofoam cutting machine (Computer Numerical Control) using hot wire can facilitate the process of cutting styrofoam in large quantities and uniformly with machine drive on the X and Y axes. The purpose of this study is to design and manufacture a CNC based styrofoam cutting machine that can be programmed so that it can facilitate the cutting of styrofoam in large quantities and uniformly with movement on the X and Y axes. The method used is an experimental method in which the G-Code processing process is sent to the software which then produces 2 axis movements, namely on the X and Y axes. Then the styrofoam cutting process is continued using a hot wire whose temperature has been regulated using voltage and current which produces styrofoam cutting according to the size of the styrofoam used, which is 88 cm long, 42 cm high with a thickness of 2 cm and the accuracy level obtained for the X axis of 99.84% and the Y axis of 99.91%.

Keywords: *CNC, Styrofoam, Hot Wire, G-Code, Motor Stepper*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri kreatif semakin pesat saat ini. Salah satu contohnya adalah industri kreatif dalam pembuatan dekorasi dari *styrofoam*. Dekorasi dari *styrofoam* bisa digunakan dalam banyak hal, seperti: ucapan selamat pada pernikahan, wisuda, promosi jabatan, ucapan bela sungkawa, tugas seniorupa siswa, pembuatan bantalan pengaman barang, dekorasi pada acara karnaval, festival budaya, dan lain-lain. Alat pemotongan *styrofoam* ada yang bersifat manual dan otomatis. Contoh alat pemotong *styrofoam* manual yaitu *cutter* dan *hot wire*. Meningkatnya perkembangan dan kebutuhan

industri, institusi pendidikan tinggi dan sekolah kejuruan terhadap mesin *CNC* (*Computer Numerical Control*) di Indonesia lebih banyak didasari oleh munculnya teknologi *GRBL* (*software* untuk mengontrol gerakan *CNC* yang dapat diunggah ke *library* arduino). Untuk memenuhi fungsinya, *styrofoam* harus dibentuk sedemikian rupa untuk mendapatkan bentuk yang diharapkan. Caranya adalah dengan memotong bahan sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Pemotongan ini dapat dilakukan dalam bentuk gerakan pemotongan dua dimensi atau gerakan 3D [1]. *Styrofoam* juga banyak dijumpai di masyarakat dalam bentuk beberapa produk, untuk pengganti kayu balsa untuk membuat

aerofoil pesawat dalam *aeromodelling*, serta untuk kegunaan lain [2]. *CNC* merupakan suatu mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa pemrograman numerik sebagai perintah gerakannya [3]. Pada umumnya dalam pengerjaan permesinan *CNC*, dibutuhkan pengerjaan yang cepat dan memiliki kualitas yang baik namun dengan biaya pengerjaan yang lebih rendah. Hal ini menjadi daya tarik para konsumen industri untuk menggunakan mesin *CNC* dibandingkan dengan menggunakan mesin konvensional. Dengan adanya kelebihan dalam segi produktivitas akan menjadi daya saing tersendiri bagi industri yang menggunakan mesin *CNC*. Perkembangan dari pemesinan secara manual menjadi pemesinan yang menggunakan sistem *CNC* menjadi sebuah kelebihan dalam meningkatkan ketepatan dan pengaturan kecepatan sesuai yang diinginkan [4]. Semua mesin *CNC* bekerja dengan prinsip yang sama, mesin menempatkan semacam alat dalam urutan posisi yang ditentukan oleh program dan mesin *CNC* pemotong *styrofoam* juga memiliki prinsip kerja yang sama menggunakan kawat panas sebagai alat pemotong *styrofoam* [5]. Secara sederhana prinsip kerjanya adalah daya listrik melewati kawat panas (biasanya kawat Nikelin 0,30 mm) kemudian kawat dipanaskan sampai derajat suhu yang diinginkan sesuai dengan tegangan input. Busur kawat dipanaskan melalui hambatan listrik sekitar 180°C dengan melewatkan arus melalui kawat [6]. *Hot wire* adalah metode yang banyak digunakan dalam pemotongan *styrofoam* [7].

Pada tahun 2017 telah dilakukan penelitian berjudul “Rancang Bangun Mesin *CNC* 2 Sumbu”. Cara kerja mesin *CNC* yaitu membuat produk dengan bentuk dan dimensi yang sama dari proses produksi yang dilakukan secara berulang dengan menggunakan parameter uji coba plakat roda gigi [8]. Pada tahun 2020 telah dilakukan penelitian berjudul “Perancangan Dan Pengembangan Alat Pemotong *Styrofoam* Semi Otomatis Menggunakan Metode *RUL* di Desa Kalisari”. Cara kerja mesin *CNC* berupa fasilitas kerja alat pemotong *styrofoam* semi otomatis dengan menggunakan metode *RULA* (*Rapid Upper Limb Assessment*) yang merupakan metode yang dikembangkan dalam bidang ergonomi yang menginvestigasikan dan menilai posisi kerja yang dilakukan oleh tubuh bagian atas [9]. Pada tahun 2020 telah dilakukan penelitian yang berjudul “Desain Dan Pengembangan Pemotong Kawat *CNC* Untuk Produk *Styrofoam*”. Cara kerja *Cutter CNC* 2 axis *Styrofoam cutter* adalah dengan mengubah energi listrik menjadi energi panas. Pemotong Kawat *CNC* ini sudah menggunakan kontrol numerik menggunakan pemrograman *CNC* dan presisi pemotongan jauh lebih cepat [10].

Penelitian ini membuat mesin pemotong *styrofoam* berbasis *CNC* sehingga memudahkan pekerjaan dan ukuran pemotong *styrofoam* sendiri yang akan dibuat berukuran kecil. Alat ini dapat memotong *styrofoam* sesuai ukuran gambar yang ada di laptop, pemotongan menggunakan *Hot Wire* dan kontroler *GRBL* berupa *G-Code*, untuk menggerakkan pemanasnya menggunakan *motorstepper* yang dapat bergerak ke arah X dan Y. Sedangkan *RoadMap* pertama mesin *CNC* menggunakan sistem 2 sumbu, kedua menggunakan mesin *CNC* pemotong *styrofoam* semi otomatis dengan menggunakan metode *RULA foam cutter* dan yang ketiga, mesin *CNC* 2 sumbu dengan mengirimkan file *G-Code* ke mikrokontroler melalui *software universal G-Code Sender*.

II. METODE PENELITIAN

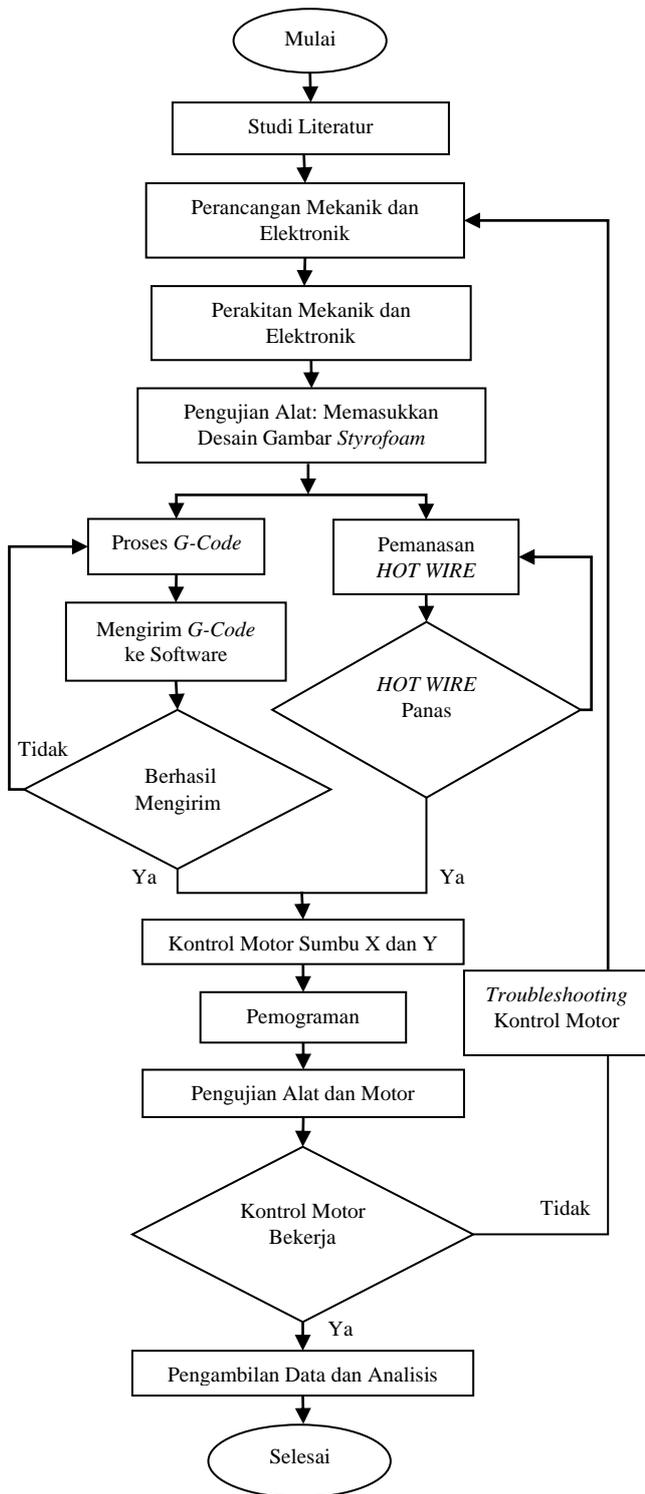
Penelitian dalam proses pembuatan mesin ini menggunakan metode eksperimental, diantaranya proses perancangan, proses pembuatan dan perakitan serta proses pengujian.



Gambar 1. Mesin Pemotong Styrofoam Berbasis CNC 2 Axis Menggunakan Hot Wire.

Mesin pemotong *styrofoam* dapat dilihat pada Gambar 1, bahwa alat yang dirancang menggunakan aluminium *profile V slot* 240 dengan ketebalan 2 cm serta dimensi mesin yaitu panjang 1080 mm, lebar 330 mm dan tinggi 600 mm. Jenis pemotong yang digunakan adalah kawat nikelin dengan ketebalan 0,3 mm.

Gambar 2 merupakan diagram alir sistem kerja mesin pemotong *styrofoam* berbasis *CNC* 2 axis menggunakan *hot wire*.

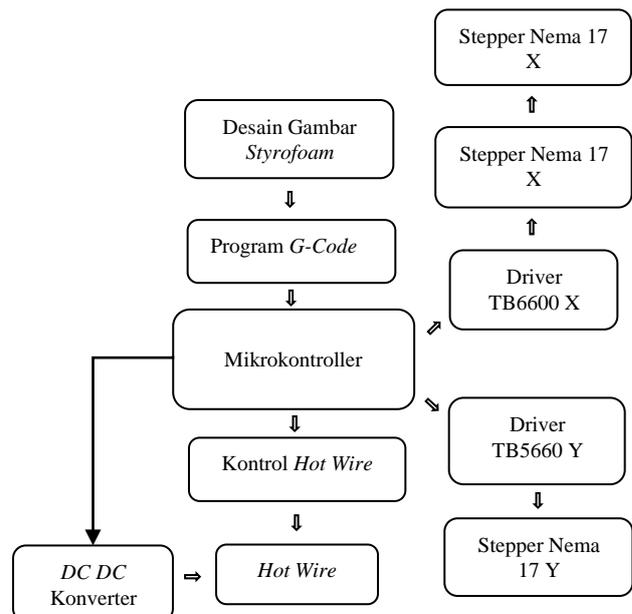


Gambar 2. Diagram Alir Pengerjaan Mesin Pemotong Styrofoam Berbasis CNC 2 Axis Menggunakan Hot Wire

Berdasarkan diagram alir pada Gambar 2, proses pengerjaan mesin pemotong styrofoam berbasis CNC 2 axis menggunakan hot wire dimulai dari studi literatur untuk mencari sumber referensi kemudian proses perancangan mekanik dan elektronik, lalu setelah dilakukan perancangan kemudian dilakukan

proses perakitan mekanik dan elektronik. Selanjutnya melakukan desain gambar *styrofoam*, setelah proses desain dilakukan, selanjutnya metode eksperimental dilakukan yaitu proses pengolahan *G-Code* dengan mengirimkan *G-Code* ke *software* dan proses pemanasan *hot wire*. Jika *G-Code* berhasil dikirim dan proses pemanasan *hot wire* berhasil, kemudian dilanjutkan ke proses kontrol motor sumbu X dan Y, jika tidak, maka kembali melakukan proses pengolahan dan pengiriman *G-Code* dan proses pemanasan *hot wire*. Kemudian setelah proses kontrol motor telah selesai maka dilanjutkan pada proses pemrograman lalu pengujian motor.

Gambar 3 merupakan blok diagram mesin pemotong *styrofoam* berbasis CNC 2 axis menggunakan *hot wire* yang terdiri dari input, proses dan output. Berdasarkan blok diagram pada Gambar 3, input dimulai dari pengerjaan desain gambar *styrofoam* dan program *G-Code*, kemudian proses pengolahan *G-Code* diproses pada mikrokontroler yaitu pada *driver TB6600* untuk *stepper nema 17* pada sumbu X dan *driver TB5660* untuk *stepper nema 17* pada sumbu Y. Kemudian mikrokontroler mengatur *DC DC* konverter agar tegangan dan suhu yang digunakan pada *hot wire* sesuai dengan yang diharapkan. Selanjutnya akan menghasilkan output berupa *hot wire* yang arusnya akan diatur oleh *DC DC* konverter yang kemudian akan digunakan untuk proses pemotongan *styrofoam* dan menghasilkan gerakan pada *stepper nema 17* untuk sumbu X dan Y.



Gambar 3. Blok Diagram Hardware

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini terdapat hasil dan analisa dari uji coba pengujian sistem dari Mesin Pemotong

Styrofoam Berbasis *CNC 2 Axis* Menggunakan *HotWire*:

A. Pengaturan Kalibrasi Sumbu X dan Y

Pengaturan tegangan dan suhu pada alat ini yaitu untuk mengatur suhu pada *hot wire* dengan menggunakan kalibrasi tegangan dan arus agar didapatkan suhu yang tepat untuk proses pemotongan *styrofoam* secara tepat dan maksimal.

Tabel 1. Proses Kalibrasi Sumbu X

Stepper Motor	Deg/step -	1.8
	Steps/rev -	200
Micro Stepping	Pulse/step -	16
	Pulse/rev -	3200
Pulley Teeth	Pulley Teeth	16
		1.
		1.
Belt Pitch	Pitch-	2
		1
		Lead (mm/rev) -
Result	*Steps per mm -	100
	Resolution (mm/step) -	0.01

Tabel 1 menunjukkan proses kalibrasi sumbu X pada *motor stepper nema17*. Dengan jumlah *pulley teeth* sebanyak 16 *teeth* dan *belt pitch* sebanyak 2 *pitch*, maka kondisi *default stepper motor* yaitu 1,8 *deg/step* dengan jumlah *micro step* sebanyak 16 *pulse/step*. Berdasarkan spesifikasi *default* komponen mesin yang digunakan maka hasil kalibrasi sumbu X yaitu 100 *steps per mm*.

Tabel 2. Proses Kalibrasi Sumbu Y

Stepper Motor	Deg/step -	1.8
	Steps/rev -	200
Micro Stepping	Pulse/step -	16
	Pulse/rev -	3200
Pulley Teeth	Pulley Teeth	20
		1.
		1.
Belt Pitch	Pitch-	2
		1
		Lead (mm/rev) -
Result	*Steps per mm -	80
	Resolution (mm/step) -	0.0125

Tabel 2 menunjukkan proses kalibrasi sumbu Y pada *motor stepper nema 17*. Dengan jumlah *pulley teeth* sebanyak 20 *teeth* dan *belt pitch* sebanyak 2 *pitch*, maka kondisi *default stepper motor* yaitu 1,8 *deg/step* dengan jumlah *micro step* sebanyak 16 *pulse/step*. Berdasarkan spesifikasi *default* komponen mesin yang digunakan maka hasil kalibrasi sumbu X yaitu 80 *steps per mm*.

B. Variasi Suhu dan Arus

Pengambilan data pengukuran suhu *hot wire* berdasarkan tegangan (V) dan arus (A) pada alat menggunakan *avometer*.

Tabel 3 menunjukkan tegangan minimum yang digunakan adalah 1,3 V didapatkan suhu *hot wire* 27°C dan tegangan maksimum yang digunakan adalah 10,1 V dengan alasan jika tegangan lebih besar dari tegangan maksimum maka akan menyebabkan *hot wire* (kawat nikelin) membara yang kemudian akan menyebabkan hasil pemotongan menjadi kurang presisi dan *offset* akan besar sehingga *error* pengukuran juga akan membesar dan hasil pemotongan tidak maksimal.

Tabel 3. Pengukuran Suhu Berdasarkan Tegangan, Arus dan Suhu Hot Wire

Tegangan (V)	Arus (A)	Suhu Hot Wire (°C)
1,3	0,00	27
2,2	0,00	27
3,1	0,07	31
4,1	0,15	38
5,1	0,23	52
6,1	0,29	76
7,1	0,38	85
8,1	0,47	104
9,1	0,56	170
10,1	0,67	190

C. Pemotongan *Styrofoam*

Berdasarkan Tabel 4, dimensi pengukuran *styrofoam* dihitung berdasarkan ukuran yang terdapat pada *software* dan ukuran yang didapatkan pada hasil pemotongan.

Tabel 4. Pemotongan Styrofoam dan Hasil Pengukuran

Dimensi <i>Software</i> (mm)	Hasil Pengukuran (mm)
MEKATRONIKA (517x57) MEKATRONIKA 07	 (520x60)
Logo Politeknik Bosowa (39x32) 	 (35x40)

Dimensi <i>Software</i> (mm)	Hasil Pengukuran (mm)
Logo Bosowa (170x108) 	 (140x100)
Happy Semhas (618x103) HAPPY SEMHAS	 (630x100)

D. Menghitung Nilai *Error* X dan Y

Data nilai error pada sumbu X dan Y yang diambil berdasarkan dimensi dan hasil pengukuran styrofoam. Adanya nilai error dipengaruhi oleh adanya lelehan pada proses pemotongan styrofoam yang mengakibatkan adanya perbedaan dimensi baik pada sumbu X maupun pada sumbu Y, di mana perbedaan dimensi tersebut menghasilkan persentase nilai error.

Tabel 5. Menghitung Nilai *Error* Pada Sumbu X

Dimensi <i>Software</i> (mm)	Hasil Pengukuran (mm)	<i>Error</i> (Dimensi <i>Software</i> - Hasil Pengukuran)	<i>Error</i> (%) (<i>Error</i> /Dimensi <i>Software</i> x 100%)
517	520	3	0,5
39	35	4	0,10
170	140	30	0,17
618	630	12	0,019
450	470	20	0,04
Rata-rata			0,16 %

Berdasarkan Tabel 5, didapatkan akurasi sumbu X = $100\% - 0,16\% = 99,84\%$.

Tabel 6. Menghitung Nilai *Error* Pada Sumbu Y

Dimensi <i>Software</i> (mm)	Hasil Pengukuran (mm)	<i>Error</i> (Dimensi <i>Software</i> - Hasil Pengukuran)	<i>Error</i> (%) (<i>Error</i> /Dimensi <i>Software</i> x 100%)
57	60	3	0,05%
32	40	8	0,25%
108	100	8	0,07%
103	100	3	0,02%
80	85	5	0,06%
Rata-rata			0,09%

Berdasarkan Tabel 6, didapatkan akurasi sumbu Y = $100\% - 0,09\% = 99,91\%$.

Nilai error pada sumbu X dan Y menunjukkan bahwa terdapat persentase perbedaan nilai antara desain pada *software* dan pengukuran secara langsung. Dengan nilai akurasi untuk sumbu X 99,84% dan nilai akurasi sumbu Y 99,91%.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam pembuatan mesin ini, digunakan metode eksperimental yaitu proses dalam menggerakkan *axis* X dan Y digunakan proses pengiriman *G-Code* kemudian kode tersebut akan diolah pada *software* lalu menghasilkan keluaran berupa gerakan *axis* untuk *hot wire* yang panasnya telah diatur berdasarkan tegangan dan arus yang tepat.

Berdasarkan perancangan, pembuatan dan pengujian keseluruhan sistem pada pembuatan mesin ini telah dirancang dan dibangun mesin pemotong *styrofoam* berbasis *CNC 2 axis* menggunakan *hot wire* dengan tingkat akurasi sumbu X 99,84% dan sumbu Y 99,91%, adanya persentase perbedaan dimensi pada *software* dan pengukuran secara langsung dipengaruhi oleh adanya lelehan akibat proses pemotongan oleh *hot wire*. Namun, terdapat beberapa batasan terkait mesin yang telah dibuat yaitu pada *hot wire* berjenis nikelin dengan ukuran 0,3 mm yang hanya mampu menggunakan tegangan maksimal sebesar 12 *volt*. Jika digunakan arus yang lebih besar, maka dapat mengakibatkan *hot wire* membara. Selain itu terkait dengan dimensi media *styrofoam* yang digunakan hanya dapat berukuran panjang 88 cm dan tinggi 42 cm dengan ketebalan maksimal 15 cm. Oleh karena itu, untuk pengembangan lebih lanjut, mesin ini harus menggunakan jenis *hot wire* yang lebih tebal dan dimensi area kerja yang juga lebih besar.

REFERENSI

- [1] L. C. Cam, "Pengembangan Mesin NC Pemotong Styrofoam" pp. 1–4, 2017.
- [2] H. S. B. Rochardjo and B. G. Sakanegara, "Development of styrofoam cutter NC machine for intricate cutting path," *Proc. - 2017 7th Int. Annu. Eng. Semin. Ina.* 2017, 2017, doi: 10.1109/INAES.2017.8068562.
- [3] A. F. Iman and A. Mustofa, "RANCANG BANGUN MESIN PEMOTONG TULISAN DENGAN BAHAN STYROFOAM BERBASIS CNC," vol. 8, no. 1, 2021.
- [4] A. Salam, M. Iswar, M. Rifaldi, S. Malik, and K. Putra, "Rancang Bangun Mesin CNC Router Mini Untuk Pembelajaran Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin," *J. Tek. Mesin Sinergi*, vol. 17, no. 2, p. 150, 2020, doi: 10.31963/sinergi.v17i2.2077.

- [5] L. Lei, P. Model, E. Monitoring, and W. Jiang, "Desain dan pemodelan mesin CNC universal," 2022, doi: 10.1088/1742-6596/1753/1/012040.
- [6] I. Q. Muhammad and K. Al-jadriya, "Optimalisasi Parameter Proses Pemotongan Hotwire ke Tingkatkan Sifat Busa Polistirena," vol. 10, no. 5, pp. 1–16, 2019, doi: 10.7176/ISDE.
- [7] A. Abeysinghe, S. Abeysiriwardena, R. Nanayakkarawasam, W. Wimal Siri, and S. Tennakoon, "Pengembangan Mesin Pemotong Busa Kawat Panas yang Dikontrol Secara Numerik untuk Konstruksi Cetakan Sayap," pp. 60–65.
- [8] F. Ridwan and A. Novriheldi, "METAL : Jurnal Sistem Mekanik dan Termal Rancang Bangun Mesin CNC 2 Sumbu," *J. Sist. Mek. Dan Termal*, vol. 01, no. 02, pp. 91–98, 2017.
- [9] N. Syafiq and E. N. Hayati, "Perancangan dan Pengembangan Alat Pemotong Styrofoam Semi Otomatis Menggunakan Metode RULA di Desa Kalisari," *Din. Tek.*, vol. 13, no. 1, pp. 43–52, 2020,
[Online]. Available: <https://www.unisbank.ac.id/ojs/index.php/ft1/index>
- [10] Syahrizah, "Seri Konferensi IOP: Ilmu dan Teknik Material Desain dan pengembangan pemotong kawat CNC untuk produk styrofoam Desain dan pengembangan pemotong kawat CNC untuk produk styrofoam," 2020, doi: 10.1088/1757-899X/931/1/012004.