



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL JOYSTICK UNTUK JOGGING PADA MESIN CNC MILLING 3 – AXIS BERBASIS GRBL

LAPORAN TUGAS AKHIR

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh:

Prisdon Gunawan Siregar

NIM. 2302311163

PROGRAM STUDI DIII TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA



Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAPORAN TUGAS AKHIR

HALAMAN PERSETUJUAN

LAPORAN TUGAS AKHIR

PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL JOYSTICK UNTUK JOGGING
PADA MESIN CNC MILLING 3 – AXIS BERBASIS GRBL

Oleh: Prisdan

Gunawan Siregar

NIM.2302311163

Program Studi D3-Teknik Mesin.

Laporan tugas akhir ini telah di setujui oleh pembimbing:

Pembimbing 1


Radhi Maladzi, S.T., M.T.
NIP: 199307282024061001

Pembimbing 2


Azam Mulya Muhamad, S.Tr.,
M.T.
NIP: 199608232024061001

Kepala Program Studi D3-Teknik Mesin


Nabila Yudisha, S.T., M.T.
NIP. 199311302023212045



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR

**HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR
PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL JOYSTICK UNTUK JOGGING PADA
MESIN CNC MILLING 3 – AXIS BERBASIS GRBL**

Oleh :
Prisdon Gunawan Siregar
NIM. 2302311163

Program Studi D III Teknik Mesin

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang Tugas Akhir di hadapan Dewan
Penguji pada tanggal 24 Juli 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk
memperoleh gelar DIPLOMA III pada Program Studi Teknik Mesin pada

Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1	Asep Yana Yusyama, S.pd., M.Pd.	Penguji 1		24/07/2026
2	Bayun Matsaany, S.Stat., M.Sc.	Penguji 2		24/07/2026
3	Radhi Maladzi, S.T., M.T.	Moderator		24/07/2026

Depok, 24 juli 2026

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Fuad-Zainuri, S.T., M.Si.

NIP. 197602252000121002



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINIL

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Prisdon Gunawan Siregar

NIM 2302311163

Program Studi : Diploma III Teknik Mesin

menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan Tugas akhir telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 17 Juli 2026



Prisdon Gunawan Siregar

NIM. 2302311163



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ABSTRAK

Proses penentuan titik nol (zeroing point) dan pemosisian manual (jogging) pada mesin CNC Milling 3-Axis berbasis pengontrol GRBL kerap terkendala oleh antarmuka perangkat lunak PC seperti Universal Gcode Sender (UGS) atau Candle. Kendala ini mencakup terbatasnya sudut pandang operator terhadap pahat serta risiko terjadinya tool collision akibat lag pemrosesan masukan dari keyboard maupun mouse. Penelitian ini menghadirkan solusi berupa perancangan dan penerapan sistem kontrol joystick eksternal terintegrasi untuk memperlancar navigasi sumbu X, Y, dan Z secara real-time. Sistem ini mengandalkan mikrokontroler untuk mengolah masukan analog dari modul joystick, tombol pemilih sumbu, tombol opsi skala presisi (step size), dan Emergency Stop, lalu mengonversinya menjadi perintah gerak GRBL (\$J) yang dikirim via transmisi serial UART. Metode penelitian yang diterapkan meliputi rekayasa perangkat keras, pemrograman transmisi data serial, pengujian responsivitas sinyal, evaluasi akurasi pergerakan sumbu, hingga analisis perbandingan efisiensi waktu pemosisian awal terhadap antarmuka GUI konvensional. Hasil pengujian mengonfirmasi bahwa sistem *Joystick* terintegrasi secara optimal dengan firmware GRBL. Pergerakan jogging berlangsung mulus, fleksibel, serta responsif terhadap tingkat defleksi joystick dan tingkatan skala presisi yang disesuaikan. Penerapan sistem ini terbukti memangkas waktu penentuan titik nol awal secara signifikan, sekaligus memberikan keleluasaan bagi operator untuk mengawasi jarak pahat ke benda kerja secara presisi, intuitif, dan aman.

Kata Kunci: *CNC Milling 3-Axis, GRBL, Joystick Control, Jogging, Pemosisian Titik Nol, Mikrokontroler.*

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ABSTRACT

Establishing work zeroing points and performing manual jogging on GRBL-controlled 3-Axis CNC Milling machines often faced challenges when using PC software interfaces like Universal Gcode Sender (UGS) or Candle. These issues typically involve restricted operator lines-of-sight toward the cutting tool and elevated tool collision risks driven by input latency from standard computer peripherals. This study introduces the design and implementation of an integrated external joystick control system aimed at simplifying real-time X, Y, and Z-axis navigation. The system employs a microcontroller to process analog inputs from a joystick module, axis selection buttons, precision step-size toggles, and an Emergency Stop switch, translating them into native GRBL motion commands (\$J) sent via UART serial communication. The research methodology incorporates hardware engineering, serial data transmission programming, signal responsiveness testing, axis positioning accuracy validation, and a comparative efficiency analysis against conventional GUI platforms. The evaluation results confirm that the joystick control system operates seamlessly with the GRBL firmware, delivering smooth, flexible, and highly responsive motion tailored to joystick deflection and chosen precision scales. Ultimately, deploying this system significantly reduces zero-point calibration time while enabling operators to observe tool-to-workpiece clearance directly, intuitively, and safely.

Kata Kunci: *CNC Milling 3-Axis, GRBL, Joystick Control, Jogging, Pemosisian Titik Nol, Mikrokontroler.*

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat, karunia, dan petunjuk-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul: “Rancang Bangun Sistem Kontrol *Joystick* Untuk Sistem Jogging Pada Mesin CNC Milling 3 – Axis Berbasis Grbl” Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya (A.Md.) pada Program Studi Diploma III Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

Tugas akhir ini bertujuan untuk mencoba membuat system manual menggunakan *Joystick* untuk sistem control cnc milling 3 – axis berbasis GRBL. khususnya dalam penggunaan mesin pengendalian numerik komputer (CNC) dalam proses produksi, tugas akhir ini bertujuan untuk mencoba membuat sistem manual menggunakan Joystick untuk sistem kontrol CNC milling 3 sumbu berbasis GRBL. Mesin CNC banyak digunakan karena dapat menghasilkan produk dengan tingkat presisi tinggi dan efisiensi waktu yang tinggi dan dapat bekerja secara otomatis sesuai dengan rencana. Penulis berusaha menyajikan data dan analisis secara sistematis, logis, dan berdasarkan prinsip ilmiah yang relevan saat menulis laporan ini. Penulis menyadari bahwa laporan ini tidak dapat dibuat tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.
2. Ibu Nabila Yudisha, S.T., M.T, selaku Ketua Program Studi Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.
3. Bapak Radhi Maladzi, S.T., M.T. dan Azam Milah Muhamad, S.Tr., M.T., selaku Pembimbing tugas akhir saya.
4. Keluarga yang sudah membantu dan mendoakan saya.
5. Seluruh Jajaran dosen Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat bagi penulis dari awal perkuliahan hingga tugas akhir.
6. Keluarga M23 yang sudah Bersama hingga akhir.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

7. Muhajir dan Haris sebagai sahabat saya yang sudah membantu dan mendoakan saya.
8. Teman saya Aprian yang sudah membantu saya dalam merangkai dan menyusun tugas akhir.

Depok, 17 Juli 2026



Prisdon Gunawan Siregar

NIM. 2302311163

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINIL.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Metode Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan	6
BAB II	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Konsep Sistem Kontrol Manual (Pendant) pada CNC.....	7
2.2 Prinsip Kerja <i>Joystick</i> Analog sebagai Jogging	7
2.2.1 Konversi Sinyal Analog Digital (ADC).....	7
2.2.2 Konsep <i>Deadzone</i> pada <i>Joystick</i>	8
2.3 Algoritma Pemetaan Kecepatan Adaptif (Adaptive Feedrate Mapping)	8
2.4 Protokol Perintah Jogging Real – Time GRBL (\$J=)	9
2.5 Kajian Penelitian Terdahulu tentang Kontrol Manual CNC	9
2.6 Mesin CNC Milling Unit (TU-3A)	11
2.7 Prinsip Kerja Mesin CNC Milling Unit (TU-3A).....	11
1. Komponen Elektrikal	12
2.8 Analisis Perhitungan	17



Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.8.1	Perhitungan Resolusi Pembacaan ADC <i>Joystick</i>	17
2.8.2	Perhitungan Pemetaan Kecepatan (Adaptive Feedrate Mapping) ...	18
2.8.3	Perhitungan Kecepatan Putar (<i>RPM</i>) Motor Stepper.....	18
2.8.4	Perhitungan Daya Motor Stepper	19
2.9	Kajian Literatur.....	20
2.9.1	Kajian Jurnal.....	20
2.9.2	Rancang Bangun Mesin CNC Router Portabel Dengan Dimensi 1219 X 609 [mm] Untuk Skala Laboratorium.....	21
		23
2.9.3	Rancang Bangun Mesin CNC Router Mini 3 Axis	23
2.9.4	Rancang Bangun Mesin CNC Milling 3 Axis dengan Menggunakan Sistem Kontrol Android	25
2.9.5	Rancang Bangun Mesin CNC Router Mini untuk Pembelajaran mahasiswa Jurusan Teknik Mesin.....	27
2.9.6	Perancangan Mesin CNC Mini untuk Praktikum lab Laboratorium Teknologi Material Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat dengan Dimensi Bahan Uji 50 Cm X 30 Cm X 10 Cm.....	29
2.10	STATE-OF-THE-ART (ISHIKAWA CHART/FISHBONE)	31
BAB III		35
METODOLOGI PENELITIAN		35
3.1	Metode Penelitian	35
3.3.1	Pengujian Respons Pergerakan Sumbu (Axis Travel Response)	35
3.3.2	Pengujian Akurasi Sistem <i>Jogging</i> (<i>Positioning Accuracy</i>)	35
3.3.3	Pengujian Kinerja Komunikasi Kontrol (<i>Data Communication Performance</i>).....	37
3.3.4	Kerangka Analisis Hasil untuk Pemecahan Masalah.....	37
3.3.5	Tempat dan Waktu Penelitian	39
3.3.6	Alat dan Bahan	40
3.2	Diagram Alir Penelitian	41
3.3	Tahapan Pelaksanaan Penelitian	43
3.3.7	Identifikasi Masalah	43
3.3.8	Identifikasi Kebutuhan Pengguna.....	44
3.3.9	Studi Literatur.....	45
3.3.10	Quality Function Deployment (QFD).....	46
3.3.11	House Off Quality (HOQ)	46
3.3.12	Konsep Desain.....	46



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.3.13	Concept Screening and Scoring.....	47
3.3.15	Pabrikasi dan Perakitan Komponen.....	48
3.3.16	Uji Coba	48
3.3.17	Kesimpulan dan Saran	49
BAB IV		51
HASIL DAN ANALISA		51
4.1	Identifikasi Kebutuhan Konsumen.....	51
4.2	Identifikasi Kebutuhan Spesifikasi.....	52
4.3	MATRIX HOUSE OF QUALITY (HOQ)/QFD)	53
4.4	Pengujian Sistem Kontrol Manual Mesin CNC Milling	54
4.5	Pengujian Komunikasi Universal G-code Sender (UGS)	55
4.6	Pengujian Parameter Step Size dan Feed Rate	56
4.7	Pengujian Pergerakan Sumbu X, Y, dan Z	56
4.8	Analisis Hasil Pengujian	57
4.9	Pembahasan.....	57
4.10	Konsep Desain Rancangan	58
4.11	Pengaturan Spindle pada Sistem CNC	58
4.12	Pengujian Kontrol Manual Menggunakan Stik PlayStation	60
4.14	Analisis Hasil Pengujian.....	62
4.15	Pengujian Respons Sistem dengan Joystick	63
4.16	Pengujian Respons Tanpa Joystick / Melalui UGS.....	64
BAB V		66
PENUTUP		66
5.1	Kesimpulan	66
5.2	Saran	66
DAFTAR PUSTAKA		70
LAMPIRAN		71



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Arduino	13
Gambar 2 1 Pin Out.....	14
Gambar 3 1 CNC Shield V3.....	14
Gambar 4 1 CNC Shield.....	15
Gambar 5 1 Motor Stepper	15
Gambar 6 1 Power Supply.....	16
Gambar 7 1 Spindel Motor	17
Gambar 8 1 Rancang Bangun Mesin CNC Router Portable dengan dimensi 1219×609 [mm] untuk Skala Laboratorium	23
Gambar 9 1 Rancang Bangun Mesin CNC Router Mini 3 Axis.....	25
Gambar 10 1 Rancang Bangun Mesin CNC Milling 3 Axis dengan Menggunakan Sistem Kontrol Android	26
Gambar 11 1 Rancang Bangun Mesin CNC Router Mini untuk Pembelajaran mahasiswa Jurusan Teknik Mesin.....	28
Gambar 12 1 Perancangan Mesin CNC Mini untuk Praktikum laboratorium Teknologi Material Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat dengan Dimensi Bahan Uji 50 Cm X 30 Cm X 10 cm	30



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 13 1 Fishbone Kajian Jurnal	34
Gambar 14 1 Diagram Alir Penelitian CNC Milling.....	41
Gambar 15 1 Diagram Alir Sistem Jogging Manual	42
Gambar 17 1 Mesin CNC Milling terkoneksi oleh UGS.....	54
Gambar 18 1 Jogg Controller	55
Gambar 19 1 Frame CNC Milling dan Meja Controller	58





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Table 1 Kajian Kontrol Manual CNC Milling	10
Table 2 Timeline	39
Table 3 Alat	40
Table 4 Bahan	40
Table 5 Kebutuhan Konsumen	51
Table 6 Hasil Pengaturan Parameter Jogging	56
Table 7 Perintah Pengendalian Spindle	59
Table 8 Pengujian Kontrol	60
Table 9 Tabel Uji Coba dengan Joystick	63
Table 10 Rekapitulasi Joystick	64
Table 11 Tabel Uji Coba Tanpa Joystick	64
Table 12 Tabel Rekapitulasi Joystick Dan UGS	65

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam Perkembangan teknologi manufaktur saat ini mengalami kemajuan yang pesat, khususnya dalam penggunaan mesin Computer Numerical Control (CNC) pada proses produksi. Mesin CNC banyak digunakan karena mampu menghasilkan produk dengan tingkat presisi tinggi, efisiensi waktu, serta mampu bekerja secara otomatis berdasarkan program yang diberikan. Pengoperasian mesin CNC dilakukan melalui sistem kontrol numerik yang mengatur pergerakan sumbu X, Y, dan Z berdasarkan program yang telah ditentukan. Selain proses pemesinan otomatis, mesin CNC juga memerlukan fungsi manual jogging, yaitu pergerakan sumbu secara langsung untuk keperluan setting titik nol, kalibrasi, pemasangan benda kerja, dan pengecekan posisi alat potong. Fungsi jogging ini menjadi salah satu aspek penting dalam mendukung efisiensi dan akurasi proses pemesinan.

Kualitas dan kenyamanan pengoperasian mesin CNC bergantung pada kemampuan sistem untuk menjalankan program G-code dan kemudahan pengendalian manual operator. Perangkat lunak kontrol seperti Universal Gcode Sender, Candle, atau bCNC sering memungkinkan pergerakan manual pada banyak mesin CNC skala kecil maupun retrofit. Karena operator harus selalu berinteraksi dengan komputer, metode ini kurang efisien dan tidak ergonomis. Dalam situasi tertentu, operator membutuhkan alat kontrol fisik yang dapat dioperasikan secara langsung untuk memungkinkan pergerakan sumbu yang aman, cepat, dan mudah dipahami. Oleh karena itu, sistem kontrol manual berbasis *Joystick* adalah alternatif yang menarik untuk meningkatkan efisiensi pengoperasian mesin CNC.

Sistem kontrol berbasis *Joystick* bekerja dengan mikrokontroler mengubah gerakan tuas analog menjadi sinyal elektrik. Arduino adalah salah satu mikrokontroler yang paling banyak digunakan untuk aplikasi ini karena memiliki antarmuka GUI yang mudah digunakan dan kompatibel dengan berbagai sensor dan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

modul input. Arduino mengubah sinyal analog dari *Joystick* menjadi perintah gerakan untuk sumbu X, Y, dan Z. Kemudian, perintah ini ditransmisikan ke sistem kontrol berbasis GRBL, yang merupakan firmware open-source yang dapat dipasang pada Arduino. GRBL menerjemahkan kode G ke pulsa kontrol motor stepper. Dengan komunikasi serial, sistem *Joystick* dapat memberikan perintah jogging secara real-time tanpa mengubah struktur utama kontrol CNC. *Joystick* analog model DualShock 3 banyak digunakan dalam pengembangan sistem kontrol manual karena memiliki dua sumbu analog dan satu tombol tekan. Modul ini cocok untuk mengendalikan pergerakan sumbu mesin CNC karena dapat mendeteksi arah dan besarnya gerakan tuas dengan cukup akurat. Operator dapat mengatur arah dan kecepatan gerakan dengan lebih mudah daripada dengan tombol digital. Selama persiapan pemesinan, menambahkan *Joystick* ke dalam sistem CNC juga dapat meningkatkan aspek ergonomi, mempercepat proses pengaturan, dan mengurangi ketergantungan pada komputer.

Mesin CNC milling 3-axis yang digunakan di pendidikan vokasi dan industri kecil biasanya tidak memerlukan perangkat manual eksternal. Kondisi ini menyebabkan proses pengaturan posisi alat dan benda kerja menjadi kurang efisien, terutama ketika operator harus melakukan penyesuaian yang sangat presisi. Waktu setting yang panjang dalam proses praktikum, penelitian, dan produksi skala kecil dapat mengurangi produktivitas dan meningkatkan kesalahan operator. Akibatnya, diperlukan sistem kontrol tambahan yang dapat melakukan jogging manual secara efisien, responsif, dan mudah digunakan. Sistem kontrol *Joystick* manual untuk mesin CNC milling tiga sumbu harus mempertimbangkan beberapa elemen teknis, seperti pembacaan sinyal analog, komunikasi serial dengan GRBL, keamanan pergerakan, dan desain mekanik panel kontrol. Selain itu, sistem harus dapat menerjemahkan gerakan *Joystick* ke dalam perintah yang tepat untuk masing-masing sumbu tanpa mengganggu kinerja utama mesin CNC. Dengan perancangan yang tepat, sistem ini diharapkan dapat meningkatkan kenyamanan operator, mempercepat proses pengaturan, dan mendukung peningkatan efisiensi kerja mesin.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem kontrol *Joystick* manual untuk sistem jogging pada mesin milling CNC 3-axis berbasis GRBL. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan perangkat kontrol yang dapat digunakan sebagai alternatif pengendalian manual yang lebih ergonomis, responsif, dan mudah digunakan.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi teknis untuk pengembangan sistem kontrol CNC yang sederhana namun efektif bagi industri manufaktur, teknis, dan institusi pendidikan vokasi. Selain itu, penelitian ini juga dapat memberikan referensi teknis untuk pengembangan perangkat kontrol tambahan pada mesin CNC berbasis GRBL yang meningkatkan kualitas dan produktivitas proses pemesinan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat dirumuskan beberapa masalah utama yang menjadi fokus dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana merancang sistem kontrol *Joystick* manual pada mesin CNC milling 3-axis berbasis GRBL?
2. Bagaimana mengintegrasikan *Joystick* dengan sistem kontrol CNC?
3. Bagaimana kinerja sistem *Joystick* dalam menggerakkan sumbu X, Y, dan Z pada mesin CNC?



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat terarah dan sistematis, maka ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Mesin yang digunakan adalah CNC milling 3-axis berbasis GRBL.
2. Sistem kontrol manual menggunakan *Joystick* analog sebagai input untuk menggerakkan sumbu mesin.
3. Pengujian sistem difokuskan pada respon gerakan, arah pergerakan, dan fungsi kontrol *Joystick*, tidak mencakup analisis kekuatan struktur mesin atau kualitas hasil pemesinan
4. Sistem *Joystick* hanya digunakan untuk fungsi jogging (manual movement), bukan untuk proses pemotongan otomatis

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Merancang Sistem Kendali Jogging Manual Berbasis *Joystick* Analog.
2. Membangun Penampang Fisik (Handheld Pendant) dan Integrasi Elektronik.
3. Menganalisis Performa Hasil Uji Coba Kendali Sumbu dan Akselerasi Kecepatan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Institusi :
 - Dapat digunakan sebagai media pembelajaran praktik mengenai system CNC dan kontrol manual.
 - Menjadi referensi bagi mahasiswa Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta dalam pengembangan sistem kontrol pada mesin CNC..
 - Menambah koleksi penelitian di bidang otomasi dan manufaktur pada lingkungan kampus.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Bagi Peneliti :

- Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi dalam merancang CNC Milling terutama pada sistem kontrol manual.
- Memperluas pemahaman dan wawasan mengenai implementasi sistem kontrol manual pada mesin CNC Milling.

1.6 Metode Penelitian

Penelitian menggunakan pendekatan experimental yang dilaksanakan melalui tahapan-tahapan berikut:

1. Identifikasi Masalah : Tahap awal penelitian dilakukan dengan melakukan pengamatan langsung terhadap pengoperasian mesin CNC Milling 3-Axis berbasis GRBL saat menggunakan antarmuka standar komputer (Universal Gcode Sender). Dari hasil pengamatan, diidentifikasi bahwa proses jogging konvensional menggunakan klik mouse atau tombol keyboard kurang ergonomis, memecah fokus visual operator, dan memiliki risiko salah input koordinat saat kalibrasi titik nol (setup zeroing). Permasalahan inilah yang dijadikan dasar untuk merancang sebuah sistem kontrol joystick manual eksternal.
2. Studi Literatur : Untuk memperkuat landasan berpikir ilmiah, dilakukan pengumpulan referensi teori dan acuan standar terkait. Kajian literatur meliputi arsitektur firmware GRBL (terutama protokol komunikasi data real-time), teori konversi sinyal analog ke digital (ADC) pada mikrokontroler, serta dokumentasi perintah kode \$J= (perintah jogging non-modal). Selain itu, dikaji pula jurnal ilmiah terdahulu mengenai pengembangan pendant CNC untuk mempelajari metode reduksi latensi serial agar sistem responsif dan aman.
3. Persiapan Bahan Uji : Menyiapkan komponen *Joystick* analog, mikrokontroler Arduino pembantu, papan kontrol utama GRBL (CNC Shield), driver motor TB 6600, dan motor stepper sumbu X, Y, Z. Menulis kode program di Arduino IDE untuk membaca nilai ADC *Joystick*, menerapkan algoritma deadzone (agar mesin tidak bergerak sendiri saat



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

tuas diam), serta melakukan pemetaan (mapping) kemiringan tuas menjadi variasi nilai kecepatan (feedrate).

4. Pengujian Ketahanan : Spesimen yang telah di las diuji dengan diberikan beban dan getaran guna mengetahui seberapa lama hasil pengelasan dapat bertahan.
5. Analisis Data : Data hasil pengujian dibandingkan secara kuantitatif untuk menemukan pengaruh jenis elektroda terhadap kekuatan tarik dan stabilitas sambungan.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun secara sistematis agar memudahkan pembaca dalam memahami isi penelitian yang akan dilakukan. Adapun sistematika penulisan laporan adalah sebagai berikut:

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

PENUTUP

1 Kesimpulan

Sistem kendali jogging manual berbasis joystick analog berhasil dirancang dan diterapkan pada mesin CNC Milling 3-Axis berbasis GRBL. Sistem menggunakan joystick analog sebagai perangkat input untuk memberikan perintah gerakan pada sumbu X, Y, dan Z. Pergerakan joystick pada masing-masing arah diterjemahkan menjadi perintah jogging sehingga operator dapat menggerakkan sumbu mesin secara manual. Sistem ini memungkinkan pengoperasian mesin menjadi lebih praktis dibandingkan pengendalian secara manual melalui perintah pada perangkat lunak.

Handheld pendant berhasil dibuat sebagai perangkat kendali fisik dan diintegrasikan dengan sistem elektronik mesin CNC. Pendant dilengkapi dengan joystick analog dan komponen pendukung yang berfungsi sebagai antarmuka antara operator dengan sistem kontrol CNC. Integrasi dilakukan dengan menghubungkan input joystick ke sistem mikrokontroler, kemudian mengolah perubahan posisi joystick menjadi perintah kendali yang diteruskan ke sistem GRBL. Dengan adanya handheld pendant, operator dapat melakukan proses jogging dari perangkat kendali yang berada langsung di tangan, sehingga pengendalian arah gerak sumbu menjadi lebih mudah dan fleksibel.

Hasil pengujian kendali sumbu menunjukkan bahwa joystick dapat memberikan respons terhadap pergerakan sumbu X, Y, dan Z sesuai dengan arah input yang diberikan. Ketika joystick digerakkan pada arah tertentu, sistem memberikan respons berupa pergerakan sumbu yang sesuai. Hal ini menunjukkan bahwa proses pembacaan input analog, pengolahan data, serta pengiriman perintah ke sistem CNC dapat berjalan dengan baik. Pengujian juga menunjukkan bahwa masing-masing sumbu dapat dikendalikan secara manual menggunakan joystick sesuai fungsi yang telah dirancang.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pengujian akselerasi dan kecepatan menunjukkan bahwa sistem mampu mengatur respons gerakan sumbu berdasarkan input joystick. Perubahan posisi joystick dapat digunakan untuk membedakan tingkat pergerakan atau kecepatan jogging, sehingga operator tidak hanya dapat menentukan arah gerak, tetapi juga mengatur respons gerakan mesin secara lebih fleksibel. Semakin besar input joystick yang diberikan, sistem dapat memberikan perintah gerak yang lebih besar sesuai dengan batas parameter yang telah ditentukan pada program dan sistem GRBL.

Secara keseluruhan, sistem kontrol joystick yang dikembangkan mampu menjalankan fungsi utama sebagai kendali jogging manual pada mesin CNC Milling 3-Axis berbasis GRBL. Sistem yang dibuat dapat membantu operator dalam melakukan pengaturan posisi awal, pemindahan posisi meja atau spindle, serta proses penentuan koordinat sebelum proses pemesinan. Penggunaan handheld pendant juga memberikan alternatif pengendalian yang lebih praktis dan interaktif dibandingkan hanya menggunakan antarmuka komputer.

Dengan demikian, ketiga tujuan tugas akhir telah tercapai, yaitu merancang sistem kendali jogging manual berbasis joystick analog, membuat dan mengintegrasikan handheld pendant dengan sistem elektronik CNC, serta menganalisis performa kendali sumbu dan respons kecepatan melalui pengujian sistem. Hasil pengembangan menunjukkan bahwa joystick dapat dimanfaatkan sebagai media kendali manual untuk meningkatkan kemudahan, fleksibilitas, dan efisiensi pengoperasian mesin CNC Milling 3-Axis saat melakukan proses jogging.

5.2 Saran

Peningkatan akurasi dan respons joystick perlu dilakukan dengan menambahkan proses kalibrasi dan filtering pada pembacaan sinyal analog joystick. Hal ini bertujuan untuk mengurangi perubahan nilai input yang tidak diinginkan atau noise ketika joystick berada pada posisi tengah, sehingga pergerakan mesin dapat menjadi lebih stabil dan presisi.

Pengaturan kecepatan jogging dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan beberapa tingkat kecepatan atau speed mode. Dengan demikian,



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

operator dapat memilih kecepatan rendah untuk proses penyetelan posisi yang membutuhkan ketelitian dan kecepatan lebih tinggi untuk perpindahan posisi yang relatif jauh.

Handheld pendant dapat dikembangkan dengan penambahan tombol fungsi, seperti tombol Emergency Stop, tombol pemilihan sumbu X, Y, dan Z, tombol pengaturan step size, serta tombol untuk mengatur mode kecepatan. Penambahan fungsi tersebut dapat membuat pendant lebih lengkap dan meningkatkan kemudahan pengoperasian mesin.

Sistem keselamatan perlu ditingkatkan, terutama dengan menambahkan tombol Emergency Stop yang terintegrasi langsung pada handheld pendant. Tombol tersebut diperlukan agar operator dapat menghentikan pergerakan mesin dengan cepat apabila terjadi kesalahan pengoperasian atau kondisi yang tidak diinginkan.

Pengujian selanjutnya sebaiknya dilakukan dengan jumlah data yang lebih banyak dan variasi kondisi yang lebih luas, misalnya pengujian pada beberapa jarak perpindahan, variasi kecepatan jogging, serta pengujian berulang pada setiap sumbu. Dengan jumlah data yang lebih banyak, tingkat akurasi, konsistensi, dan repeatability sistem dapat dianalisis secara lebih objektif.

Perbandingan antara kendali menggunakan joystick dan kendali melalui Universal Gcode Sender (UGS) dapat dilakukan secara lebih mendalam, terutama dari aspek waktu respons, akurasi perpindahan, kemudahan pengoperasian, dan konsistensi gerakan. Hasil perbandingan tersebut dapat menjadi dasar untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan masing-masing metode kendali.

Desain fisik handheld pendant dapat dikembangkan lebih ergonomis, baik dari segi ukuran, posisi joystick, tata letak tombol, maupun material casing. Hal ini bertujuan agar pendant lebih nyaman digunakan dalam waktu yang lama dan mengurangi kemungkinan kesalahan operator saat mengendalikan mesin.

Untuk pengembangan berikutnya, sistem dapat ditambahkan dengan tampilan informasi secara langsung, seperti LCD atau OLED untuk menampilkan koordinat X, Y, Z, kecepatan jogging, mode pengoperasian, dan status koneksi sistem. Dengan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

adanya tampilan tersebut, operator dapat memantau kondisi mesin tanpa harus selalu melihat layar komputer.

Pengembangan sistem komunikasi nirkabel dapat dipertimbangkan pada penelitian berikutnya sehingga handheld pendant tidak harus selalu terhubung menggunakan kabel. Namun, penerapan komunikasi nirkabel harus tetap memperhatikan kestabilan koneksi, latency, dan aspek keselamatan agar tidak mengganggu respons kendali mesin.

Secara keseluruhan, pengembangan berikutnya diharapkan tidak hanya berfokus pada fungsi joystick sebagai pengendali jogging, tetapi juga pada peningkatan akurasi, keselamatan, ergonomi, keandalan, dan kemudahan penggunaan sehingga sistem dapat diterapkan secara lebih optimal pada mesin CNC Milling 3-Axis.



**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

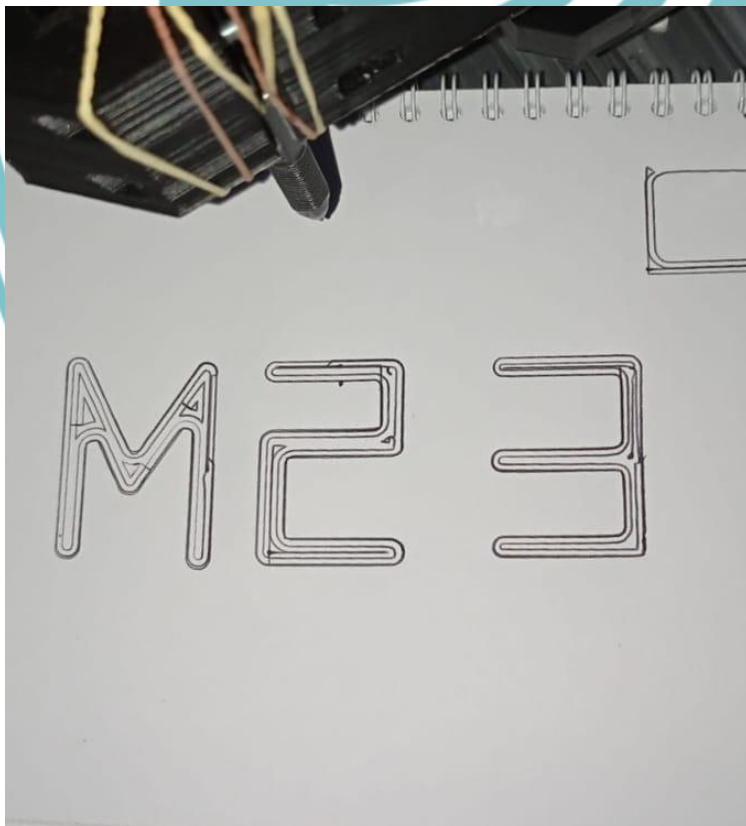
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- Akao, Y. (1990). *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design*. Cambridge, MA: Productivity Press.
- Balasubramanian, K. (2021). *Communication Protocols in Embedded Systems and IoT*. Wiley-IEEE Press.
- Budiharto, W. (2021). *Sistem Mekatronika Berbasis Arduino dan Mikrokontroler*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Ford, E. (2016). *Getting Started with CNC*. San Francisco: Make Community, LLC.
- Groover, M. P. (2020). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing* (5th Edition ed.). New York: Pearson Education.
- Monk, S. (2022). *Make: Getting Started with CNC*. San Francisco: Make Community, LLC.
- Putra, A. R., Hermawan, D., & Nugroho, S. (2021). Optimasi Pengoperasian Mesin CNC Engraving 3-Axis Menggunakan Sistem Kontrol PC-Based. *Jurnal Teknik Mesin dan Otomasi*, 8(2), 112-119.
- Slocum, A. H. (Precision Machine Design). 2020. Dearborn, Michigan: Society of Manufacturing Engineers (SME).
- Smid, P. (2017). New York: Industrial Press Inc.
- Sugiyono. (2022). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2020). *Product Design and Development*. New York: McGraw-Hill.
- Wijaya, B. S. (2023). Pengembangan Pendant Controller Berbasis Tombol Tekan untuk Sistem Pemesinan Mandiri. *Jurnal Rekayasa Mekanika dan Mekatronika*, 5(3), 201 - 209.

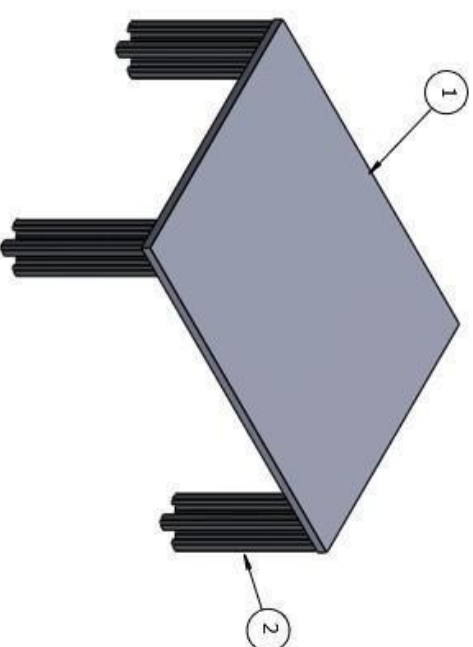
LAMPIRAN

ITEM	UNIT	QUANTITY	TOTAL
ALUMUNIUUM PROFILE 2020	PCS	4	Rp900.000,00
Arduino Uno + Kabel USB	PCS	1	Rp60.000,00
Stainless Grade 201	PCS	1	Rp50.000,00
Kabel Ties	PCS	4	Rp10.000,00
Joystick PS 3	PCS	1	Rp175.000,00
Kabel Jumper	PCS	4	Rp25.000,00
Baut M3 + Washer + Mur	PCS	4	Rp20.000,00
Baut Jf + Mur Stainless 304	PCS	4	Rp20.000,00
Akrilik Tebal (20 x 15 x 5 mm)	PCS	2	Rp100.000,00
TOTAL			Rp1.360.000,00



Hak Cipta :

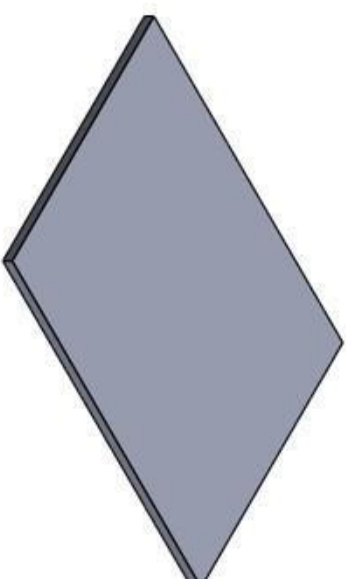
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Jumlah	Nama Bagian	No.Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III II I	Perubahan :				
	MEJA CONTROL CNC MINI		Skala Digambar 1 : 2 Diperiksa		Prisdo
	POLITEKNIK NEGERI JAKARTA	NO :		A3	

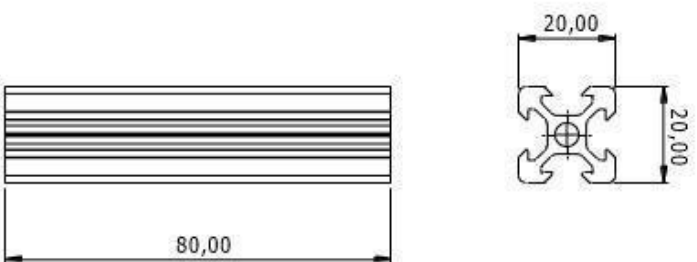
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

[illegible]

- a. pengutuban nanya untuk kepentingan penalaikan, peneitran , penuisn karya ilmiah, penuisn laporan, penuisn kritik atau tinjauan suatu masala.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Jumlah		Nama Bagian	No. Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III	II	Perubahan :				
		ALUMINIUM PROFILE 20X20		Skala Dikambar		Prisdon
		POLITEKNIK NEGERI JAKARTA		1 : 1 Diperiksa		
		NO :				A3

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

