

**RANCANG BANGUN MESIN CNC *ROUTER ENGRAVING* 3D
BERBASIS MOTOR SERVO AC**

(Pengendali Kecepatan Spindle dengan Metode Kontrol PID)

PROYEK AKHIR

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Diploma III

Oleh:

Muhammad Faris Ikhsan

219341036



**PROGRAM STUDI MEKATRONIKA
JURUSAN TEKNIK OTOMASI MANUFAKTUR DAN MEKATRONIKA
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN MESIN CNC *ROUTER ENGRAVING* 3D BERBASIS MOTOR SERVO AC (Pengendali Kecepatan Spindle dengan Metode Kontrol PID)

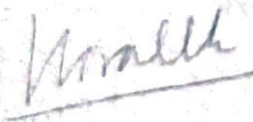
Oleh:

Muhammad Faris Ikhsan
219341036

Program Studi Mekatronika
Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Politeknik Manufaktur Bandung

Menyetujui
Tim Pembimbing

Pembimbing I,



Dr. Noval Lilansa, DiplIng (FIH), MT,
NIP. 197111231995121001

Pembimbing II,



Ridwan, S.S.T., M.Eng.
NIP. 197806122001121002

ABSTRAK

Mesin CNC *router engraving* 3D merupakan mesin yang berfungsi untuk membantu proses pengukiran pada benda kerja secara otomatis. Dengan mesin CNC *router engraving* 3D proses pengukiran dapat dilakukan pada desain yang sulit sekalipun dapat dilakukan hanya dengan memasukkan code yang sesuai yaitu *G-Code*. Mesin CNC *router engraving* 3D ini tersusun atas empat buah aktuator yang terdiri dari tiga unit motor *servo* AC sebagai penggerak sumbu x, sumbu y, dan sumbu z serta satu unit motor DC sebagai penggerak *spindle*. Pengontrol yang digunakan pada mesin ini yaitu *Mach-3* sebagai kendali utama atas mesin ini dan *Arduino uno* sebagai pengendali kecepatan pada *spindle*.

Penggerak *spindle* motor DC pada mesin CNC *router engraving* 3D ini menggunakan metode H-Bridge yang terdapat pada penggerak BTS7960. Dengan mengendalikan sinyal PWM dari *Arduino uno* maka keluaran tegangan pada rangkaian akan berubah sesuai dengan sinyal PWM yang diberikan. Keluaran tegangan yang dikendalikan ini akan menjadi metode yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor DC *spindle*. Sementara itu, PID dibuat untuk mempertahankan dan menjaga kestabilan kecepatan putar motor DC *spindle* ketika melakukan proses pengukiran.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggerak BTS7960 dapat digunakan sebagai pengendali kecepatan putar motor DC *spindle* dan juga dapat mengatur arah putar motor DC *spindle* dengan efisiensi *H-Bridge* maksimum mencapai 83%. Perbandingan input PWM dengan output RPM menunjukkan grafik yang linier dengan rata – rata *error* sebesar 0,38% sehingga kontrol PID pada motor DC dapat berfungsi dengan baik. Namun ketika *driver* motor *servo* AC diberi tegangan 24VDC untuk pengendalian menggunakan *mach-3* terjadi gangguan terhadap sensor *rotary encoder*, dimana gangguan ini mengakibatkan pembacaan sensor *rotary encoder* tidak sesuai dan kendali PID tidak dapat diimplementasikan dengan baik pada mesin CNC *router engraving* 3D ini.

Kata Kunci: Mesin CNC *router engraving* 3D, Motor DC, *Arduino uno*, BTS7960, PID.

ABSTRACT

3D CNC router engraving machine is a machine that serves to assist the process of engraving on the workpiece automatically. With a 3D CNC router engraving machine, the engraving process can be carried out on even difficult designs, it can be done only by entering the appropriate code, namely G-Code. This 3D CNC router engraving machine is composed of four actuators consisting of three AC servo motor units as the x-axis, y-axis, and z-axis drives and one DC motor unit as the spindle drive. The controller used on this machine is Mach-3 as the main control for this machine and Arduino uno as the speed controller on the spindle.

The DC motor spindle drive on this 3D CNC router engraving machine uses the H-Bridge method found in the BTS7960 drive. By controlling the PWM signal from the Arduino uno, the output voltage in the circuit will change according to the given PWM signal. This controlled voltage output will be the method used to regulate the speed of the DC spindle motor. Meanwhile, PID is made to maintain and maintain the stability of the rotational speed of the DC spindle motor when carrying out the engraving process.

The test results shows that the BTS7960 drive can be used to control the rotational speed of the DC spindle motor and can also adjust the direction of rotation of the DC spindle motor with a maximum H-Bridge efficiency reaching 83%. The comparison of PWM input with RPM output shows a linear graph with an average error of 0.38% so that the PID control on the DC motor can function properly. However, when the AC servo motor driver is given a voltage of 24VDC for control using mach-3, there is a noise to the rotary encoder sensor, where this noise cause the incorrect signal readings of the rotary encoder and PID control cannot be implemented properly on this 3D CNC router engraving machine.

Keywords: *CNC Router Engraving 3D Machine, Mach-3, Arduino Uno, BTS7960, PID.*

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang hanya kepadaNya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon keampunan. Kami berlindung kepadaNya dari kekejian diri dan kejahatan amalan kami. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah maka tidak ada yang dapat menyesatkan, dan barang siapa yang tersesat dari jalanNya maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Dan aku bersaksi bahwa tiada sembahyan yang berhak disembah melainkan Allah saja, yang tiada sekutu bagiNya. Dan aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hambaNya dan RasulNya.

Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan proyek akhir ini dengan judul: “**RANCANG BANGUN MESIN CNC ROUTER ENGRAVING 3D BERBASIS MOTOR SERVO AC** (*Pengendali Kecepatan Spindle dengan Metode Kontrol PID*)”.

Proyek akhir dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Diploma III pada Program Studi Mekatronika di Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesaikannya proyek akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Direktur Politeknik Manufaktur Bandung, Bapak Mohammad Nurdin, S.T., M.A.B.
2. Ketua Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Bapak Ismail Rokhim, ST., MT.
3. Ketua Program Studi D-III Mekatronika, Ibu Siti Aminah, S.T., M.T

4. Kedua Pembimbing proyek akhir Dr.Noval Lilansa, Dipl.ing(FH) dan Bapak Ridwan, SST., MT
5. Para Penguji sidang proyek akhir Bapak Ruminto Subekti, S.S.T,M.T., Bapak Wahyudi Purnomo, S.T.,M.T., Bapak Sarosa Castrena Abadi, S.Pd.,M.T. dan Bapak Abdur Rohman Harits Martawireja, S.Si.,M.T.
6. Panitia proyek akhir Ibu Hilda Khoirunnisa. S.Tr.T., M.Sc Eng, dan Bapak Afaf Fadhil Rifa'i, S.T., M.T.
7. Teristimewa kepada Orang Tua penulis Yeni Suwarni (Ibu) yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moril, materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan proyek akhir ini.
8. Untuk sahabat — sahabat saya dari kelas 3 AEB

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan proyek akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiiiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, 14 Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Tujuan	1
1.2 Teknologi	1
BAB II LAPORAN TEKNIK.....	2
2.1 Landasan Teori.....	2
2.1.1 Gambaran Umum Sistem	2
2.1.2 Motor DC.....	6
2.1.3 Penggerak Motor DC.....	8
2.1.4 <i>Arduino Uno</i>	9
2.1.5 <i>Pulse Width Modulation</i>	10
2.1.6 Perancangan Sistem Kendali PID pada Motor DC.....	11
2.1.7 <i>Rotary Encoder</i>	12
2.2 Metodologi Penelitian	13
2.2.1 Diagram Alir Sistem.....	14
2.2.2 Diagram Alir Sistem Sistem Mode Otomatis.....	15
2.2.3 Diagram Alir Sistem Sistem Mode Manual	16
2.2.4 Diagram Alir Sistem PID	17
2.3 Gambaran Sub Sistem	18
2.3.1 Penggerak Motor DC.....	18
2.3.2 Program Pengendali Motor DC (<i>Spindle</i>)	21
2.4 Hasil Pengujian	24
2.4.1 Pengujian PWM Mikrokontroller.....	24
2.4.2 Pengaruh PWM Terhadap Tegangan <i>Output</i> Penggerak.....	27
2.4.3 Efisiensi penggerak motor DC	28
2.4.4 Pengujian Penggerak Motor DC untuk <i>Spindle</i>	29
2.4.5 Penentuan Parameter PID.....	30
2.4.6 Hasil Pengujian Kontrol PI pada motor DC	34
2.4.7 Hasil Pengujian Kontrol PID pada motor DC	35
2.4.8 Hasil Pengujian Integrasi.....	38
BAB III KESIMPULAN DAN SARAN	43
3.1 Kesimpulan Hasil Implementasi	43
3.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN.....	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mesin CNC <i>Router Engraving</i> 3D	2
Gambar 2. 2 Ukuran Mesin CNC <i>Router</i> 3D	3
Gambar 2. 3 Ukuran Area Kerja Mesin	4
Gambar 2. 4 Gambaran Komponen Penyusun Mesin.....	5
Gambar 2. 5 Arah Putar Motor DC	6
Gambar 2. 6 Bagian – bagian Motor DC.	6
Gambar 2. 7 Arah Medan Magnet yang ditimbulkan oleh Arus.....	7
Gambar 2. 8 Kaidah Tangan Kiri Fleming.....	7
Gambar 2. 9 <i>H – Bridge</i>	8
Gambar 2. 10 Mode 1 (<i>Clockwise</i>).	8
Gambar 2. 11 Mode 2 (<i>CounterClockwise</i>).	9
Gambar 2. 12 <i>GPIO Arduino Uno</i>	9
Gambar 2. 13 PWM.	10
Gambar 2. 14 Respon Input Step	11
Gambar 2. 15 Diagram Blok PID.....	12
Gambar 2. 16 Bentuk Fisik <i>Rotary Encoder</i>	12
Gambar 2. 17 Susunan Piringan <i>Incremental Encoder</i>	13
Gambar 2. 18 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	14
Gambar 2. 19 Diagram Alir Secara Umum.....	15
Gambar 2. 20 Diagram Alir Mode Otomatis	16
Gambar 2. 21 Diagram Alir Mode Manual	17
Gambar 2. 22 Diagram Alir Algoritma PID.....	17
Gambar 2. 23 Rangkaian Penggerak BTS7960	18
Gambar 2. 24 Diagram Blok IC BTS7960.....	19
Gambar 2. 25 Skema Rangkaian <i>Full H - Bridge</i>	19
Gambar 2. 26 Diagram <i>Wiring</i> Pengendali Motor DC	20
Gambar 2. 27 Diagram Blok Kontrol PID Motor <i>Spindle</i>	23
Gambar 2. 28 Gelombang PWM Berdasarkan Persentase <i>Duty Cycle</i>	25
Gambar 2. 29 Grafik Pengaruh PWM terhadap <i>Duty Cycle</i>	26
Gambar 2. 30 Grafik Pengaruh <i>Duty Cycle</i> terhadap Tegangan <i>Output Driver</i> ...	27
Gambar 2. 31 Grafik Respon <i>Duty Cycle</i> Terhadap Kecepatan Motor.....	29
Gambar 2. 32 Respon Input Step Motor DC.....	30
Gambar 2. 33 Percobaan <i>Tuning</i> PID 1	31
Gambar 2. 34 Percobaan <i>Tuning</i> PID 2	32
Gambar 2. 35 Percobaan <i>Tuning</i> PID 3	33
Gambar 2. 36 Respon Sistem dengan Kontrol PID pada <i>Set Point</i> 1000 RPM....	36
Gambar 2. 37 Respon Sistem dengan Kontrol PID pada <i>Set Point</i> 3000 RPM....	37
Gambar 2. 38 Respon Sistem dengan Kontrol PID pada <i>Set Point</i> 5000 RPM....	37
Gambar 2. 39 Tampilan <i>Spindle</i> OFF	38
Gambar 2. 40 Tampilan <i>Spindle</i> ON.....	39
Gambar 2. 41 Relay Aktif Ketika Perintah <i>Spindle ON</i>	39
Gambar 2. 42 Sinyal pada Pin Digital <i>HIGH</i>	40
Gambar 2. 43 Relay Tidak Aktif Ketika Perintah <i>Spindle Off</i>	40
Gambar 2. 44 Sinyal pada Pin Digital <i>Low</i>	41
Gambar 2. 45 Pembacaan Pada Serial Monitor Ketika Kondisi Off.....	41
Gambar 2. 46 Pembacaan Pada Serial Monitor Ketika Kondisi On	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Spesifikasi Ukuran Mesin	4
Tabel 2. 2 Pengukuran PWM dan <i>Duty Cycle</i>	26
Tabel 2. 3 Pengukuran <i>Duty Cycle</i> dan Tegangan Motor DC	27
Tabel 2. 4 Tabel Respon Tegangan dan Arus Penggerak Motor DC.....	28
Tabel 2. 5 Tabel perhitungan efisiensi <i>H-bridge</i> pada penggerak BTS7960.....	28
Tabel 2. 6 Pengukuran <i>Duty Cycle</i> dan Kecepatan Motor DC	29
Tabel 2. 7 Hasil Pengujian Kontrol Pi	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Program Arduino	46
----------------------------------	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Tujuan

Tujuan dari penulisan karya tulis proyek akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mesin mampu mengimplementasikan fungsi dasar *G-CODE* menjadi pergerakan motor pada *plant*.
2. Membuat sistem pengendali kecepatan putar untuk motor DC spindel dengan menerapkan rangkaian *H-Bridge*.
3. Mampu mempertahankan dan menjaga kestabilan kecepatan motor DC berbasis *Proportional Integral Derivative* (PID).

1.2 Teknologi

Teknologi yang digunakan pada proyek akhir ini adalah:

1. Interfacing : PC – C# (*Visual Studio*) dan *Web*.
2. Proses : *Microcontroller – Mach - 3*
Microcontroller – Arduino Uno (Slave)

Perangkat keras :

1. Motor Servo : PANASONIC MSMD012G1U 3 PHASE AC / 1.1 A
RATED REV. 3000 r/min
2. Motor DC : 24 VDC / 500 W
3. *Driver Servo* : PANASONIC MADKT 1505E 200-240 V / *SINGLE* / 3
PHASE 1.6 A 50 / 60 Hz
4. *Driver DC* : BTS7960B
5. Encoder : AUTONICS E340S – 360 – T – 3 - 24

Perangkat lunak :

1. Antarmuka : C# (*Visual Studio*)
2. Pemrograman : *Arduino 1.8.13*
3. *Software* Desain : *Solidworks 2017 64 bit*
4. *Software Converter* : *Fusion* (Mengonversi *File STL* ke *G-CODE*)
5. Rangkaian Elektronika : *Eagle 9.1*
6. Diagram Alir : *Microsoft Visio 2010 & E-draw*