

PENGEMBANGAN DAN PENGUJIAN PADA RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL PROTOTIPE CNC BUBUT 2 SUMBU DENGAN CONTROLLER MACH3

¹Agus Suryanto ²Sigit Widiyanto,

¹Mahasiswa STT Duta Bangsa, ²Dosen STT Duta Bangsa

¹Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Duta Bangsa

Kalibaru Timur Kel. Kalibaru Medan Satria Kota Bekasi

Email: suryantowebmail@gmail.com; widiyantosit997@gmail.com

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji rancang bangun sistem kontrol pada mesin CNC bubut 2 sumbu dengan menggunakan *controller* Mach3. Mesin ini dirancang untuk melakukan pemotongan dengan pemrograman manual maupun melalui perangkat lunak CAM (*Computer Aided Manufacturing*). Pengujian dilakukan menggunakan material jenis Nylon PA6 untuk mengevaluasi kinerja dan presisi mesin. Hasil pengujian menunjukkan defleksi puntiran pada sumbu X sebesar $0,008^\circ$ dan sumbu Z sebesar $0,01^\circ$. Mesin ini memiliki tingkat presisi 98,61% pada sumbu X dan 99,83% pada sumbu Z, dengan persentase *error* masing-masing sebesar 1,39% dan 0,17%. Dengan hasil ini, mesin CNC bubut yang dikembangkan memiliki performa yang baik dan dapat digunakan sebagai alat praktikum untuk mahasiswa.

Keywords— CNC, Mach3, mesin bubut, 2 sumbu, Nylon PA6, presisi, defleksi.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi CNC (*Computer Numerical Control*) semakin pesat di era industri 4.0, terutama dalam sektor manufaktur. Mesin CNC bubut banyak digunakan karena kemampuan presisinya dalam melakukan berbagai jenis pemotongan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kontrol mesin CNC bubut 2 sumbu menggunakan Mach3, yang dapat mempermudah kalibrasi dan pengoperasian mesin bagi mahasiswa Teknik Mesin.

A. Rumusan Masalah

Dengan adanya latar belakang yang mendorong penulisan skripsi, maka ada beberapa rumusan masalah yang muncul sebagai pertanyaan pedoman agar sesuai dengan apa yang penulis inginkan. antara lain:

1. Bagaimana cara merancang dan merakit sistem kontrol *prototype* mesin CNC bubut dengan *software* Mach3 sebagai *user interface controller*.
2. Bagaimana cara kalibrasi dan pemrograman agar bisa berjalan sesuai perancangan model benda kerja

B. Batasan Masalah

Dengan Pada pembahasan skripsi ini perlu adanya ruang lingkup yang membatasi pembahasan agar tidak meluas dan menjadikan skripsi ini terdapat batasan masalah, antara lain:

1. Membuat rancangan dan merakit ulang sistem kontrol CNC bubut berbasis Mach3.

2. Membuat modul untuk kalibrasi mesin agar dapat berjalan dengan benar dan mempunyai tingkat akurasi yang baik.

C. Tujuan

Berikut adalah tujuan dari skripsi ini:

1. Mengetahui cara membuat modul sistem kontrol CNC bubut 2 sumbu berbasis Mach3.
2. Mengetahui cara untuk kalibrasi alat mesin CNC agar bisa berjalan sesuai program.
3. Agar mesin *prototype* CNC bubut dapat digunakan kembali untuk kegiatan praktikum kampus.

D. Manfaat

Dari penulisan skripsi ini, penulis mengharapkan manfaat untuk dapat diterapkan di dunia nyata, antara lain :

1. Skripsi ini nantinya akan digunakan sebagai bahan belajar mahasiswa teknik mesin dan masyarakat umum agar nantinya bermanfaat bagi pendidikan dan perkembangan teknologi industri.
2. Sebagai penunjang penelitian berikutnya khususnya dibidang perkakas CNC.
3. Memberikan gambaran sistem kerja gerakan CNC dengan *motor stepper* sebagai penggerak sumbu, *motor stepper* untuk penggerak *spindle* utama, dan menggunakan *software* Mach3.

II. LANDASAN TEORI

Dalam penelitian ini menggunakan beberapa teori sebagai landasan dalam penelitian, antara lain:

A. Pengertian Mesin Bubut

Mesin Bubut adalah suatu mesin yang menggunakan prinsip putaran sebagai dasarnya. Benda kerja akan dicekam oleh chuck spindle diputar melawan pahat sehingga memberikan kita sebuah bentuk yang diinginkan.

B. Sistem Kontrol CNC

Sistem kontrol CNC (*Computer Numerical Control*) adalah sistem yang digunakan untuk mengendalikan peralatan mesin secara otomatis melalui instruksi yang diprogram dalam bentuk kode numerik. Sistem CNC adalah otak dan jantung mesin CNC dan memungkinkan berbagai anggota mesin seperti *slide*, *spindel*, dll. beroperasi dalam urutan yang diprogram ke dalamnya, tergantung pada operasi permesinan.

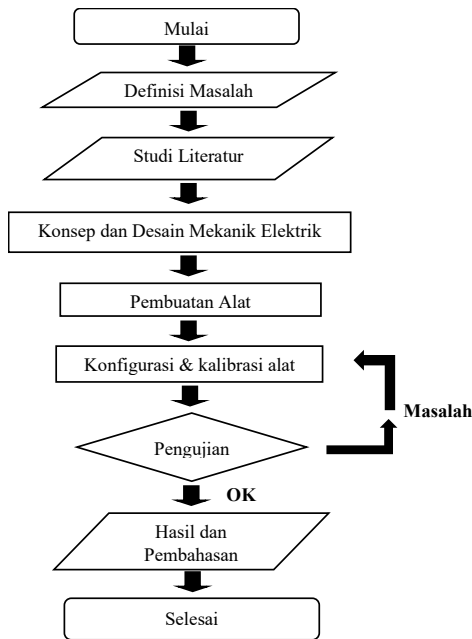
III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian ini meliputi desain, perakitan, dan pengujian mesin CNC bubut 2 sumbu. Sistem kontrol

menggunakan Mach3 sebagai antarmuka pengguna. *Motor stepper* digunakan untuk menggerakkan sumbu X dan Z, sedangkan *motor spindle* berfungsi untuk memutar benda kerja. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi defleksi puntiran, torsi, dan daya *motor spindle*, serta kecepatan potong.

A. Diagram Alir Penelitian

Untuk mempermudah dalam rancang bangun sistem kontroler mesin CNC bubut ini maka digunakan diagram alir (*flow chart*) yang di tunjukkan pada bagan di bawah ini:



Gambar 3.1 Digaram Alir Penelitian

B. Alat dan Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini, penulis menyiapkan beberapa instrumen dan komponen yang membantu dalam proses pembuatan sistem kontroler CNC seperti:

- 1) *Power supply* (12VDC dan 5VDC)
- 2) *Stepper motor driver* (TB6600)
- 3) *Motor stepper* (Nema 23HS8430 1.8° 3A)
- 4) *Software freeware* (Mach3 version R3.042.020)
- 5) *Breakout Board* (BOB Mach3 LPT)
- 6) *Micro switch* (V155-1C25)
- 7) *Emergency stop push botton* (LA38-11ZS)
- 8) *Hall effect sensor* (NJK 5002C)
- 9) *Tachometer digital LED RPM*
- 10) *Panel lamp* (220VAC)
- 11) *Miniature Circuit Breaker* (MCB 2A)
- 12) *Fuse* (12VDC)
- 13) *Relay* (12VDC)
- 14) *Wiring Cable* (NYAF 0,75mm)
- 15) *Port cable* (DB25)
- 16) *Cooling fan* (12VDC)
- 17) *Electric panel box* (40cm x 60cm)
- 18) *Game Pad Pendant* (Xbox 360 Controller)
- 19) *Computer Windows XP 32bit* (support port DB25)
- 20) *Infrared Digital Tachometer*
- 21) *Mekanis Prototype Mesin Bubut*

C. Metode Penelitian

Metode selengkapnya dalam kegiatan penelitian membuat sistem kontrol mesin prototype bubut dengan kontrol software berbasis numerik (CNC) adalah sebagai berikut:

1. Observasi dan identifikasi dilakukan dengan cara mempelajari cara kerja dari mesin CNC yang sudah ada sebagai dasar dari penguasaan teknologi awal.
2. Desain dan perancangan dari sistem kontrol : Pada tahap ini di lakukan analisis terhadap spesifikasi optimal mesin.
3. Pembuatan dan perakitan komponen mesin CNC bubut yang belum ada untuk penyempurnaan.
4. Melakukan pengujian dan analisis data atas performa mesin dengan kontroler yang dirakit nantinya.

D. Metode Pengumpulan Data

Dengan Adapun Penyusun melakukan beberapa analisa yang di lakukan dengan:

1. Studi Pustaka (Literatur)

Merupakan metode pencarian data tentang rancang bangun sistem kontrol mesin CNC bubut dengan kontrol *software* Mach3 yang di bimbing dan didiskusikan langsung oleh dosen pembimbing. Serta pencarian pada referensi-referensi buku dan *browsing* artikel penelitian di internet sebagai materi tambahan.

2. Riset Lapangan

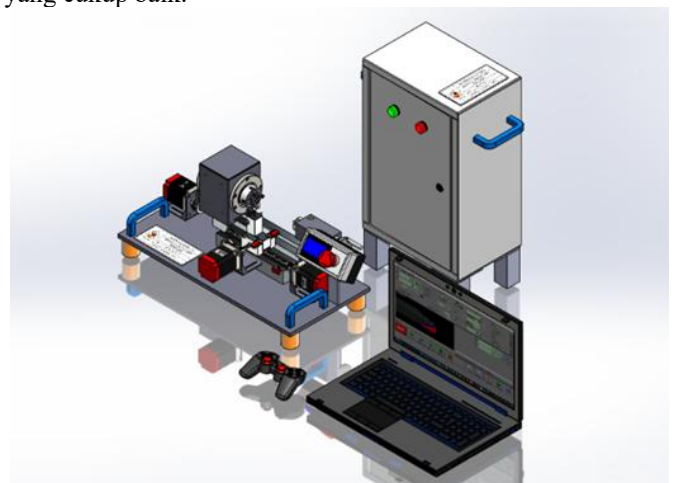
Riset lapangan yaitu metode mencari data dengan melakukan percobaan dan riset langsung pada mesin CNC bubut.

3. Tanya Jawab

Tanya jawab yaitu melakukan tanya jawab kepada beberapa dosen, para rekan-rekan mahasiswa dan orang-orang yang bersangkutan dengan alat tersebut.

E. Desain dan Perancangan

Pada tahap ini berusaha di temukan spesifikasi optimal untuk menciptakan suatu sistem kontrol mesin perkakas yang mudah dan murah serta mempunyai kemampuan dan tingkat akurasi yang cukup baik.



Gambar 3.2 Rancang Bangun Mesin Bubut Dengan Sistem Kontrol CNC

F. Pengujian dan Analisis

Rancang bangun kontroler mesin yang dihasilkan harus mempunyai kualitas yang teruji. Setelah terintegrasi dengan baik, mesin harus melalui serangkaian pengujian untuk

mengetahui karakteristik kerjanya, poin-poin karakteristik yang akan menentukan kinerja mesin antara lain:

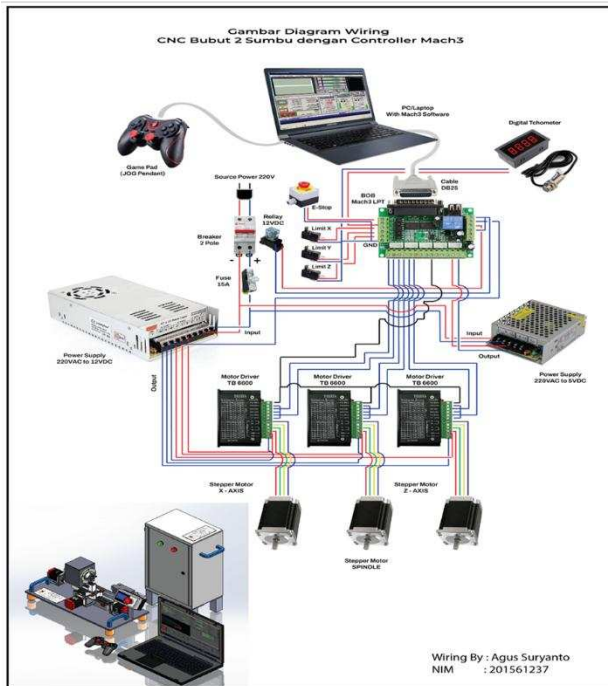
- Dimensi dan daya jelajah tiap sumbu.
- Kecepatan dan manuver.
- Tingkat ketelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan diterangkan mengenai perhitungan dari komponen mekanis mesin yang digunakan dan hasil dari pengujian yang dilakukan.

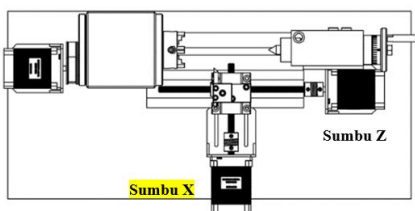
A. Wiring Sistem Kontrol CNC BOB Mach3

Dalam gambar berikut menampilkan bagaimana desain wiring dari mesin CNC Bubut untuk versi lengkapnya:



Gambar 4.1 Wiring Diagram Sistem Kontrol CNC

B. Perhitungan Poros Sumbu X



Gambar 4.2 Poros Sumbu X Mesin Bubut

Perhitungan beban pada poros sumbu X ini menggunakan referensi rumus dari formula load Omron.

Data mekanis sumbu X

Massa	(M) : 5,97 kg
Pitch	(P) : 2
Diameter poros ulir	(ds) : 10 mm
Masa poros ulir	(Ms) : 0,8 kg
Koefisien gesek	(μ) : 0,12

Poros ulir

Nilai akselerasi	G = 1 = η = 1
Kecepatan gerak putar	(V) : 10 mm/s
Panjang gerakan	(L) : 50mm
Panjang poros	(l) : 5 mm
Waktu	(t) : 0.2 s

Bahan S-C	(sf1) : 6,0
Faktor Tegangan	(sf2) : 2
Material S45C	: 58 kg/mm ² = 568,4 N/mm ²

Dari data diatas maka dapat dihitung:

a) Inersia poros ulir

$$J_s = \frac{M_s \times D^2}{8} \times 10^{-6}$$

$$= \frac{0,8 \times 10^2}{8} \times 10^{-6}$$

$$= 10 \times 10^{-5} \text{ kgm}^2$$

b) Beban Inersia

$$J_w = M \left(\frac{P}{2\pi} \right)^2 \times 10^{-6} + J_s$$

$$= 58,587 \left(\frac{2}{2 \times 3,14} \right)^2 \times 10^{-6} + 64 \times 10^{-4}$$

$$= 10 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2$$

c) Konversi beban inersia poros motor

$$J_L = J_w$$

$$= 10 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2$$

d) Torsi terhadap gesekan

$$T_w = \mu M g \cdot \frac{P}{2\pi} \times 10^{-3}$$

$$= 0,12 \times 58,587 \times 9,8 \times \frac{2}{2\pi} \times 10^{-3}$$

$$= 21,9 \times 10^{-4} \text{ Nm}$$

e) Konversi beban torsi poros motor

$$T_L = T_w$$

$$= 21,9 \times 10^{-4} \text{ Nm}$$

f) Kecepatan rotasi

$$N = \frac{60 V}{\frac{P \cdot G}{60 \times 5}}$$

$$= \frac{2 \times 1}{2 \times 1}$$

$$= 150 \text{ rotasi/menit}$$

g) Daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan ulir

$$P = T \cdot \omega$$

$$= T \times 2 \times \pi \times n / 60$$

$$= 21,9 \times 10^{-4} \times 2 \times 3,14 \times 150 / 60$$

$$= 0,03 \text{ kW}$$

h) Momen puntir yang terjadi

$$P_d : P \times F_c$$

$$: 0,03 \times 1,2$$

$$: 0,036 \text{ Kw}$$

$$M_p : 9,74 \times 10^5 \times \frac{P_d}{n}$$

$$: 9,74 \times 10^5 \times \frac{0,036}{150}$$

$$: 233,76 \text{ kg.mm}$$

i) Defleksi puntiran pada poros (θ) atau deformasi Besarnya deformasi atau defleksi yang disebabkan momen puntir pada poros harus dibatasi. Untuk poros yang dipasang pada mesin dalam kondisi normal, besarnya defleksi atau deformasi dibatasi 0° sampai 0,3°. Jika ds adalah diameter poros (mm), θ defleksi puntiran (°), l panjang poros (mm), Mp momen puntir (kg.mm) dan G modulus geser (kg/mm²) dengan nilai 8,3 x 10³ kg/mm².

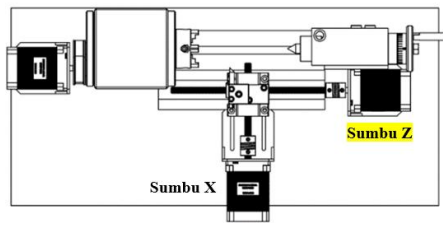
$$\theta = 584 \frac{M_p \cdot L}{G \cdot ds^4}$$

$$= 584 \frac{233,76 \cdot 5}{8,3 \times 10^3 \times 10^4}$$

$$= 0,008^\circ$$

Karena defleksi poros dibatasi 0° sampai 0,3°, maka masih memenuhi syarat.

C. Perhitungan Poros Sumbu Z



Gambar 4.3 Poros Sumbu Z Mesin Bubut

Dengan Perhitungan beban pada poros sumbu Z ini menggunakan referensi rumus dari *formula load* Omron.

Data mekanis sumbu Z

Massa	(M)	: 8,91 kg
Pitch	(P)	: 2
Koefisien gesek	(μ)	: 0,12
Diameter poros ulir	(ds)	: 10 mm
Masa poros ulir	(Ms)	: 0,8 kg
Nilai akselerasi	$G = 1 = \eta = 1$	
Kecepatan gerak putar	(V)	: 5 mm/s
Panjang gerakan	(L)	: 50 mm
Panjang poros	(l)	: 5 mm
Bahan S-C	(sfi)	: 6,0
Faktor Tegangan	(sf ₂)	: 2
Material S45C		: 58 kg/mm ² → 568,4 N/mm ²

Dari data di atas maka dapat dihitung:

a) *Inersia poros ulir*

$$J_s = \frac{M_s \times D^2}{8} \times 10^{-6}$$

$$= \frac{0,8 \times 10^2}{8} \times 10^{-6}$$

$$= 10 \times 10^{-5} \text{ kgm}^2$$

b) *Beban Inersia*

$$J_w = M \left(\frac{P}{2\pi} \right)^2 \times 10^{-6} + J_s$$

$$= 87,387 \left(\frac{2}{2 \times 3,14} \right)^2 \times 10^{-6} + 10 \times 10^{-5}$$

$$= 10 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2$$

c) *Konversi beban inersia poros motor*

$$J_L = w$$

$$= 10 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2$$

d) *Torsi terhadap gesekan*

$$T_w = \mu M g \cdot \frac{P}{2\pi} \times 10^{-3}$$

$$= 0,12 \times 87,387 \times 9,8 \times \frac{2}{2\pi} \times 10^{-3}$$

$$= 327 \times 10^{-5} \text{ Nm}$$

e) *Konversi beban torsi poros motor*

$$T_L = T_w$$

$$= 327 \times 10^{-5} \text{ Nm}$$

f) *Kecepatan rotasi*

$$N = \frac{60 V}{\frac{P \cdot G}{60 \times 5}}$$

$$= \frac{2 \times 1}{2 \times 1}$$

$$= 150 \text{ rotasi/menit}$$

g) *Daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan ulir*

$$T_m = T \cdot \omega$$

$$= T \times 2 \pi \times n / 60$$

$$= 327 \times 10^{-5} \times 2 \times 3,14 \times 150 / 60$$

$$= 0,05 \text{ kW}$$

h) *Momen puntir (Mp) yang terjadi*

$$P_d = T_m \times F_c$$

$$= 0,05 \times 1,2$$

$$= 0,06 \text{ kW}$$

$$M_p = 9,74 \times 10^5 \times \frac{P_d}{n}$$

$$= 9,74 \times 10^5 \times \frac{0,06}{150}$$

$$= 389,6 \text{ kg.mm}$$

i) *Defleksi puntiran pada poros (θ) atau deformasi*

Besarnya deformasi atau defleksi yang disebabkan momen puntir pada poros harus dibatasi. Untuk poros yang dipasang pada mesin dalam kondisi normal, besarnya defleksi atau deformasi dibatasi 0° sampai 0,3°.

Jika ds adalah diameter poros (mm), θ defleksi puntiran (°), l panjang poros (mm), Mp momen puntir (kg.mm) dan G modulus geser (kg/mm²) dengan nilai 8,3 x 10³ kg/mm².

$$\theta = 584 \frac{M_p \cdot L}{G \cdot d_s^4}$$

$$= 584 \frac{389,6 \times 5}{8,3 \times 10^3 \times 10^4}$$

$$= 0,01^\circ$$

Karena defleksi poros dibatasi 0° sampai 0,3°, maka aman.

D. *Perhitungan Besarnya Torsi dan Daya Motor Spindle*

Apabila diasumsikan besarnya gaya pemakanan $F_s = 100 \text{ N}$

Diketahui:

$$r = 4 \text{ mm} = 0,004 \text{ m}$$

$$n = 800 \text{ rpm}$$

Torsi motor spindle adalah:

$$T = F_s \cdot r$$

$$= 100 \times 0,004$$

$$= 0,4 \text{ Nm}$$

Daya motor spindle adalah:

$$P = T (2\pi \cdot n) / 60$$

$$= 0,4 \text{ Nm} (2 \times 3,14 \times 800 \text{ rpm}) / 60$$

$$= 33,5 \text{ W}$$

Dimana: T = Torsi motor (Nm)

F_s = Gaya pemakanan (N)

r = Jari-jari shaft spindle (m)

P = Daya motor (W)

n = Kecepatan putar (rpm)

Hasil perhitungan perencanaan torsi motor spindle yaitu 0,4 Nm dan daya motor spindle yaitu 33,5 W. Dalam pemilihan motor yang digunakan adalah stepper motor DC dengan daya 36 W dan torsi sebesar 1,2 Nm.

E. *Perhitungan Daya Motor Stepper*

Diasumsikan gaya beban yang harus digerakkan motor stepper $F = 90 \text{ N}$

Diketahui:

$$r = 0,008 \text{ m}$$

$$f = 100 \text{ kHz (step pulsa controller)}$$

$$N_p = 200 \text{ pulsa/rotasi}$$

Daya motor adalah:

$$T = F \cdot r$$

$$= 90 \text{ N} \times 0,008 \text{ m}$$

$$= 0,72 \text{ Nm}$$

Kecepatan putaran atau rotasi adalah:

$$\omega = 60 / N_p \cdot f$$

$$= 60 / (200 \text{ pulsa/rotasi}) \cdot 100 \text{ kHz}$$

$$= 30 \text{ rpm}$$

Daya untuk motor stepper adalah:

$$P = T \cdot \omega$$

$$= 0,72 \text{ Nm} \times 30 \text{ rpm}$$

$$= 21,6 \text{ W}$$

Dimana: T = Torsi motor (Nm)

F = Gaya beban direncanakan (N)

r = Jari-jari ulir penggerak (m)

ω = Kecepatan putaran (rpm)

Motor stepper yang digunakan dalam perancangan ini adalah motor stepper dengan torsi 1,2 Nm dengan sudut langkah 1,8o. Controllor dengan daya 36 W, sehingga perencanaan aman.

F. Perhitungan Kecepatan Potong

Dimana diasumsikan benda kerja:

$d = 17 \text{ mm}$

n = spindle diketahui sebesar 830 rpm

Nilai kecepatan potong adalah:

$Cs = (\pi \cdot d \cdot n) / 1000$

$= (3.14 \times 17 \text{ mm} \times 830 \text{ rpm}) / 1000$

$= 44,30 \approx 44 \text{ m/menit}$

Dimana: Cs = Kecepatan potong (m/menit)

n = Kecepatan putaran motor (rpm)

G. Perhitungan Kecepatan Penyayatan

Diasumsikan kedalaman pemakanan awal dan finishing sebesar 0,2 mm/putaran, maka kecepatan penyayatan adalah:

$F = f \cdot n$

$= 0,2 \text{ mm/putaran} \times 830 \text{ rpm}$

$= 166 \text{ mm/menit}$

$= 0,17 \text{ m/menit}$

Dimana: F = Kecepatan penyayatan (m/menit)

f = Kedalaman pemakanan (mm/putaran)

H. Perhitungan Gaya Aksial Penyayatan

$Fa = (P \cdot 60) / (n \cdot v) / p$

$= ((36 \text{ W} \times 60) / (30 \text{ rpm} \cdot 0,95\%) / (0,05 \text{ m}))$

$= 1.368 \text{ N}$

Dimana: Fa = Gaya aksial (N)

n = Kecepatan putar stepper (rpm)

v = Efisiensi ball screw (95%)

p = Pitch ball screw (m)

I. Perhitungan Tekanan Pahat

Dimana A didapat dari:

A = luas penampang pahat yang mengenai benda kerja x kedalaman pemakanan

$= 3 \text{ mm}^2 \times 0,2 \text{ mm/putaran}$

$= 0,6 \text{ mm}^2$

Maka tekanan pahat adalah:

$\sigma = Fa / A$

$= (1.368 \text{ N}) / (0,6 \text{ mm}^2)$

$= 2280 \text{ N}$

$= 2280 \text{ MPa}$

Dimana: σ = Tekanan pada pahat (N/mm²)

A = Luas penampang pahat (mm²)

J. Perhitungan Cutting Force

$F = Kc \times ap \times f$

$F = 700 \times 2 \times 0,2 = 280 \text{ N}$

Dimana: F = Cutting force (N)

Kc = Specific cutting force (N/mm²)

-> Material Nylon PA6: 700-800 N/mm²

f = Kedalaman pemakanan (mm/putaran)

K. Perhitungan Tool Deflection

Mesin bubut ini menggunakan *square shank tool*

$$\delta = \frac{4 \times F \times L^3}{E \times b \times h^3}$$

$$\delta = \frac{4 \times 280 \times 15^3}{210.000 \times 5 \times 5^3}$$

$$\delta = \frac{4 \times 280 \times 15^3}{131.250.000} = 0,0288 \text{ mm}$$

Dimana: F = Cutting force (N)

L = Overhang length of tool (mm)

b = Shank width (mm)

h = Shank height (mm)

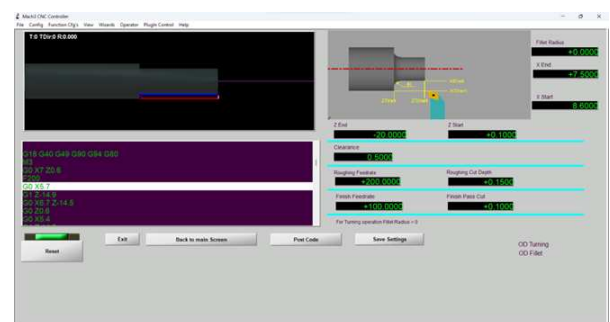
E = Modulus of elasticity of shank material (MPa)

-> Material steel: 210.000 MPa

L. Pengujian Tingkat Akurasi dan Error Dimensi Hasil Produk Mesin

Dalam pengujian ini menggunakan poros silindris bahan plastik nylon dengan sifat mekanik *shear strength* sebesar 100 MPa. Benda kerja yang diuji sebanyak 16 spesimen dengan dimensi benda kerja yang diuji yaitu Ø17 mm dan panjang 60 mm. Pahat yang digunakan adalah berbahan HSS (*High Speed Steel*).

Parameter proses pembubutan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kecepatan putaran spindle 400 rpm, celah/spasi (*clearance*) 0.5 mm, kecepatan pemakanan (*roughing federate*) 120 mm/menit, kedalaman pemakanan awal (*roughing*) 0,15 mm, kecepatan pemakanan terakhir (*finishing*) 80 mm/menit, kedalaman pemakanan terakhir (*finish depth of cut*) 0,1 mm. Untuk parameter pembubutan pada program Mach3 dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.5 Titik Pengukuran *Sample* Benda Kerja.

N. Data Hasil Pengukuran Produk

TABEL 4.1
VARIASI PROGRAM SAMPEL EKSPERIMEN YANG DIGUNAKAN

Experiments	Number of Samples	Dimension (mm)	
		Z_{end}	X_{end}
Material 1 (Model A)	4	20	15
Material 2 (Model B)	4	20	13
Material 3 (Model C)	4	30	15
Material 4 (Model D)	4	30	13

Keterangan:

Z_{end} = panjang pemakanan yang dituju (mm)

X_{end} = diameter pemakanan yang dituju (mm)

1) Data Pengukuran Program Eksperimen 1

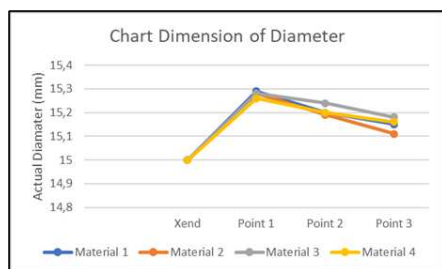
Hasil dari pengukuran dimensi panjang dan diameter pada eksperimen 1 (Z_{end} 20 mm X_{end} 15 mm) sebanyak 4 sample dapat dilihat pada Tabel 4.2, grafik gambar 4.6 dan grafik gambar 4.7 sebagai berikut:

TABEL 4.2

DATA PENGUKURAN EKSPERIMEN 1

Sample	Dimension of Length (Z) (mm)		Dimension of Diameter (X) (mm)			
	Z_{end}	Z_{actual}	X_{end}	Point 1	Point 2	Point 3
Material 1	20	19,96	15	15,29	15,2	15,15
Material 2	20	19,97	15	15,28	15,19	15,11
Material 3	20	19,98	15	15,28	15,24	15,18
Material 4	20	19,95	15	15,26	15,2	15,16
Average	20	19,97	15	15,28	15,21	15,15

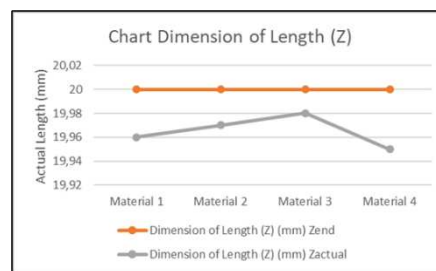
Pada Tabel 4.2 menunjukkan hasil dari pengukuran diameter pada eksperimen 1, dimana pada point 1 rata – rata hasil pengukuran dari 4 benda kerja yaitu sebesar 15,28 mm, point 2 sebesar 15,21 mm, point 3 sebesar 15,15 mm. Sedangkan pada pengukuran panjang pemakanan dengan hasil rata – rata yaitu 19,97 mm.



Gambar 4.6 Grafik Dimensi Diameter Pada 3 Point Pengukuran Eksperimen 1.

Hasil pengukuran benda kerja jika disajikan dalam bentuk grafik maka akan terlihat pada Gambar 4.6. Hasil pengukuran terdapat perbedaan nilai pengukuran (*point 1*), (*point 2*) dan

(*point 3*) dari 4 material. Pada *point 1* menunjukkan penyimpangan nilai yang terbesar (menjauhi dari ukuran X_{end}), sedangkan pada *point 3* menunjukkan hasil yang lebih mendekati nilai dimensi tujuan (mendekati dari ukuran X_{end})



Gambar 4.7 Grafik Dimensi Panjang pada 3 Point Pengukuran Eksperimen 1.

Pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai hasil pengukuran (Z_{actual}) dari 4 *sample* yang dilakukan. Pada *sample* ke-1 dan ke-4 hasilnya menjauhi nilai Z_{end} . Kemudian pada *sample* ke-2 dan ke-3 hasil mendekati nilai Z_{end} .

2) Data Pengukuran Program Eksperimen 2

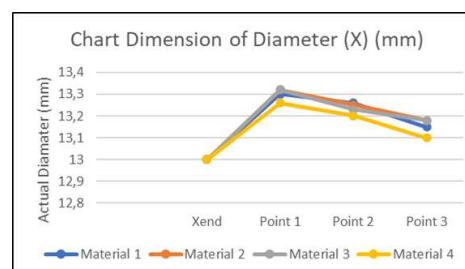
Hasil dari pengukuran dimensi panjang dan diameter pada eksperimen 2 (Z_{end} 20 mm, X_{end} 13 mm) sebanyak 4 *sample* dapat dilihat selengkapnya pada Tabel 4.3, grafik gambar 4.8 dan grafik gambar 4.9 sebagai berikut:

TABEL 4.3

DATA PENGUKURAN EKSPERIMEN 2

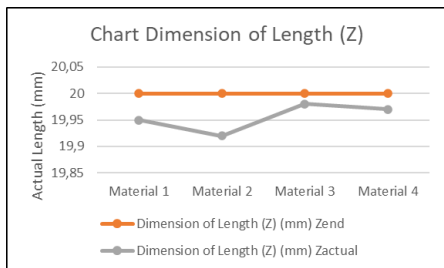
Sample	Dimension of Length (Z) (mm)		Dimension of Diameter (X) (mm)			
	Z_{end}	Z_{actual}	X_{end}	Point 1	Point 2	Point 3
Material 1	20	19,95	13	13,3	13,26	13,15
Material 2	20	19,92	13	13,32	13,25	13,18
Material 3	20	19,98	13	13,32	13,23	13,18
Material 4	20	19,97	13	13,26	13,2	13,1
Average	20	19,96	13	13,30	13,24	13,15

Pada Tabel 4.3 menunjukkan hasil dari pengukuran diameter pada eksperimen 2 dimana pada *point 1* rata – rata pengukuran dari 4 benda kerja yaitu sebesar 13,30 mm, point 2 sebesar 13,24 mm, point 3 sebesar 13,15 mm. Pada pengukuran panjang pemakanan dengan hasil rata – rata yaitu 19,96 mm.



Gambar 4.8 Grafik Dimensi Diameter Pada 3 Point Pengukuran Eksperimen 2.

Hasil pengukuran jika disajikan dalam bentuk grafik maka akan terlihat pada Gambar 4.8. Hasil dari pengukuran terdapat perbedaan nilai pengukuran (*point 1*), (*point 2*) dan (*point 3*) dari 4 material. Pada *point 1* menunjukkan penyimpangan nilai yang terbesar (menjauh dari ukuran *Xend*), sedangkan pada *point 3* menunjukkan hasil yang lebih mendekati nilai dimensi tujuan (mendekati dari ukuran *Xend*)

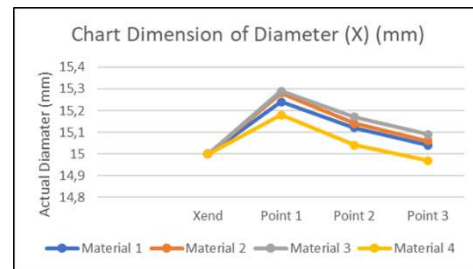


Gambar 4.9 Grafik Dimensi Panjang Pada 3 Point Pengukuran Eksperimen 2.

Pada Gambar 4.9 menunjukan bahwa terdapat perbedaan nilai pengukuran (*Zactual*) dari 4 *sample* yang dilakukan. Pada *sample* ke-1 dan ke-2 hasilnya menjauhi nilai *Zend*. Pada *sample* ke-3 dan ke-4 hasilnya mendekati nilai dari *Zend*.

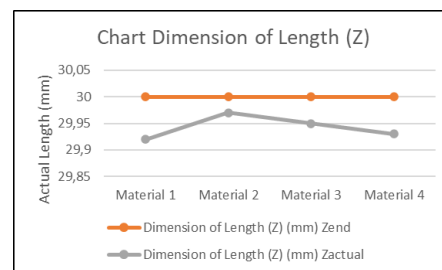
3) Data Pengukuran Program Eksperimen 3

Hasil dari pengukuran dimensi panjang dan diameter benda kerja pada eksperimen 3 (*Zend* 30 mm, *Xend* 15 mm) sebanyak 4 *sample* dapat dilihat pada Tabel 4.5, grafik gambar 4.10 dan grafik gambar 4.11 sebagai berikut:



Gambar 4.10 Grafik Dimensi Diameter Pada 3 Point Pengukuran Eksperimen 3.

Hasil dari pengukuran jika disajikan dalam bentuk grafik maka akan terlihat pada Gambar 4.10. Hasil dari pengukuran terdapat perbedaan nilai pengukuran (*point 1*), (*point 2*) dan (*point 3*) dari 4 material. Pada *point 1* menunjukkan adanya penyimpangan nilai yang terbesar (menjauh dari ukuran *Xend*), sedangkan pada *point 3* menunjukkan hasil yang lebih mendekati dari nilai dimensi tujuan (mendekati dari ukuran *Xend*)



Gambar 4.11 Grafik Dimensi Panjang Pada 3 Point Pengukuran Eksperimen 3.

Pada Gambar 4.11 menunjukan bahwa terdapat adanya perbedaan nilai pengukuran (*Zactual*) dari 4 *sample* yang dilakukan. Pada *sample* ke-1 dan ke-4 hasilnya menjauhi nilai *Zend*. Sedangkan pada *sample* ke-2 dan ke-3 hasil mendekati nilai *Zend*.

4) Data Pengukuran Program Eksperimen 4

Hasil dari pengukuran dimensi panjang dan diameter pada eksperimen 4 (*Zend* 30 mm, *Xend* 13 mm) sebanyak 4 *sample* dapat dilihat pada Tabel 4.5, grafik gambar 4.12 dan grafik gambar 4.13 sebagai berikut:

TABEL 4.4

DATA PENGUKURAN EKSPERIMEN 3

Sample	Dimension of Length (Z) (mm)		Dimension of Diameter (X) (mm)			
	Z _{end}	Z _{actual}	X _{end}	Point 1	Point 2	Point 3
Material 1	30	29,92	15	15,24	15,12	15,04
Material 2	30	29,97	15	15,28	15,14	15,06
Material 3	30	29,95	15	15,29	15,17	15,09
Material 4	30	29,93	15	15,18	15,04	14,97
Average	30	29,94	15	15,25	15,12	15,04

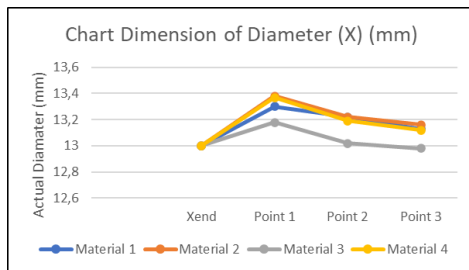
Pada Tabel 4.4 menunjukkan nilai dari hasil pengukuran diameter pada eksperimen 3 dimana pada *point 1* rata – rata pengukuran dari 4 benda kerja yaitu sebesar 15,25 mm, *point 2* sebesar 15,12 mm, *point 3* sebesar 15,04 mm. Sedangkan pada pengukuran panjang pemakanan dengan hasil rata – rata yaitu sebesar 29,94 mm.

TABEL 4.5
DATA PENGUKURAN EKSPERIMEN 4

Sample	Dimension of Length (Z) (mm)		Dimension of Diameter (X) (mm)			
	Z _{end}	Z _{actual}	X _{end}	Point 1	Point 2	Point 3
Material 1	30	29,93	13	13,3	13,22	13,13
Material 2	30	29,97	13	13,38	13,22	13,16
Material 3	30	29,95	13	13,18	13,02	12,98
Material 4	30	29,96	13	13,37	13,19	13,12
Average	30	29,95	15	13,31	13,16	13,10

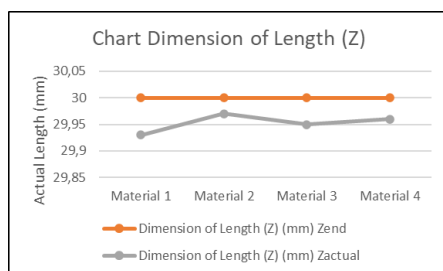
Pada Tabel 4.5 menunjukkan hasil pengukuran diameter pada eksperimen 4 dimana pada *point 1* rata – rata nilai hasil pengukuran dari 4 benda kerja yaitu sebesar 13,31 mm, *point 2* sebesar 13,16 mm, *point 3* sebesar 13,10 mm. Sedangkan

pada pengukuran panjang pemakanan dengan hasil rata – rata yaitu 29,95 mm.



Gambar 4.12 Grafik Dimensi Diameter Pada 3 Point Pengukuran Eksperimen 4.

Hasil dari pengukuran jika disajikan dalam bentuk grafik maka akan terlihat pada Gambar 4.12. Hasil dari pengukuran terdapat perbedaan nilai pengukuran (*point 1*), (*point 2*) dan (*point 3*) dari 4 material. Pada *point 1* menunjukkan penyimpangan nilai yang terbesar (menjauh dari ukuran *Xend*), sedangkan pada *point 3* menunjukkan hasil yang lebih mendekati nilai dari dimensi tujuan (mendekati dari ukuran *Xend*)



Gambar 4.13 Grafik Dimensi Panjang Pada 3 Point Pengukuran Eksperimen 4.

Pada Gambar 4.13 menunjukkan bahwa terdapat adanya perbedaan nilai pengukuran (*Zactual*) dari 4 *sample* yang dilakukan. Pada *sample* ke-1 dan ke-3 hasilnya yaitu menjauhi nilai *Zend*. Sedangkan pada *sample* ke-2 dan ke-4 hasil mendekati nilai dari *Zend*.

5) Persentase Rata-rata Error Dimensi Diameter & Panjang

Pada ke-4 eksperimen data hasil dari pengujian, perhitungan rata – rata persentase *error* dari pengukuran dimensi diameter dan panjang benda kerja dapat dilihat pada Tabel 4.6. Rumus perhitungan nilai persentase *error* yaitu sebagai berikut (Kurniawan, E., & Jekky, B. 2020):

$$\%Error = |(DT-DA)/DT| \times 100\%$$

Keterangan:

DT = Dimensi Tujuan

DA = Dimensi Aktual

Tanda *negative* hasil perhitungan diabaikan dari hasil selisih DT-DA, kemudian selisih nilai tersebut (sebagai nilai *absolute*) dibagi dengan nilai yang dituju.

TABEL 4.6

PRESENTASE ERROR DIMENSI DIAMETER DAN PANJANG

Experiments	Dimension (mm)		% Error of Dimension	
	Z _{end}	X _{end}	Diameter (X)	Length (Z)
1	20	15	1,40	0,18
2	20	13	1,77	0,15
3	30	15	0,93	0,19
4	30	13	1,46	0,16
Average			1,39	0,17

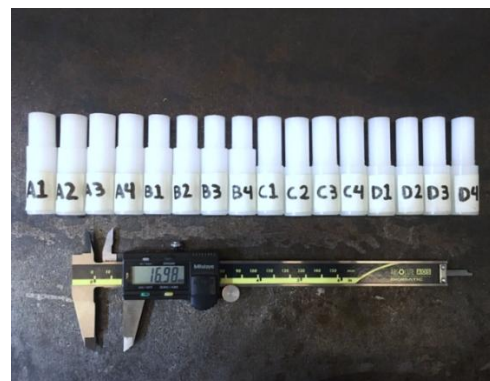
Rata-rata persentase *error* hasil dari pengukuran dimensi diameter pada benda kerja sebesar 1,39 % sehingga untuk mendapatkan kepresisian mesin adalah:

$$\text{Kepresisian mesin} = 100\% - 1,39\% = 98,61\%$$

Jadi hasil perhitungan berdasarkan pengujian mesin yang dilakukan terhadap 16 benda kerja pada gambar 4.6 dengan 4 jenis program eksperimen yang berbeda maka didapatkan nilai hasil kepresisian sebesar 98,61%. Rata – rata persentase *error* hasil dari pengukuran dimensi panjang pemakanan pada benda kerja adalah 0,17 % sehingga kepresisian mesin adalah:

$$\text{Kepresisian mesin} = 100\% - 0,17\% = 99,83\%$$

Jadi hasil perhitungan berdasarkan pengujian mesin yang telah dilakukan terhadap 16 benda kerja pada gambar 4.68 dengan 4 jenis program eksperimen yang berbeda maka didapatkan hasil kepresisian sebesar 99,83%



Gambar 4.14 Hasil Pembubutan 16 Benda Kerja

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

1. *Software* Mach3 R3 dapat diinstal pada Windows XP sampai Windows 7 Starter, simulasi pada mesin dapat dilakukan dengan baik, mesin berjalan sesuai dengan kode G yang didapat dari proses penggambaran dan simulasi di Mastercam maupun Mach3.
2. *Prototype* mesin berbasis komputer ini menggunakan *software* yang bersifat *freeware* sehingga terjangkau biayanya.
3. *Controller* CNC dapat berjalan dengan baik, begitu juga dengan safety device-nya (*limit switch & emergency stop*)
4. Mesin CNC bubut ini dapat diprogram secara manual maupun lewat *software* berbasis CAM.
5. Beberapa kode pemrograman manual siklus pembubutan tidak dapat dijalankan pada Mach3 (Contoh kode G71, G72 dan sejenisnya)
6. Nilai rata-rata dimensi benda kerja yang dibubut menggunakan mesin CNC bubut *prototype* pada program eksperimen pembubutan diameter 13 mm adalah 13,21mm, dan untuk program pembubutan diameter 15 mm adalah 15,18 mm. Sedangkan nilai rata-rata tingkat

kepresisian program pembubutan panjang pemakanan 20 mm adalah 19,97 mm dan untuk pemakanan panjang 30 mm adalah sebesar 29,95 mm.

7. Mesin CNC bubut prototype ini memiliki tingkat persentase error pada sumbu X sebesar 1,39%, sehingga tingkat kepresisian mesin CNC bubut adalah 98,61%. Pada sumbu Z persentase error sebesar 0,17% sehingga tingkat kepresisian mesin bubut CNC bubut adalah sebesar 99,83%.

B. Saran

Setelah controller mesin CNC bubut ini selesai dibuat, diharapkan ada tindak lanjut secara menyeluruh. Misalnya berupa pengembangan berikutnya dengan menggabungkan dengan mesin miling 3 sumbu pada mesin bubut ini sehingga bisa menjadi 5 sumbu. Karena walaupun mesin ini dapat berfungsi dan dapat digunakan untuk kegiatan praktikum maupun proses permesinan akan tetapi keandalan dan keakuatannya masih tergantung dari kualitas jenis komponen mekanis yang digunakan dan jenis benda kerja yang digunakan.

REFERENSI

- [1] Ikhlash Syukran Harrizal, Syafri, Adhy Prayitno. 2017. *Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin CNC Milling 3 Axis Menggunakan Close Loop System*, Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Bina Widya Panam, Pekanbaru.
- [2] Elvys, EY. 2015. *Peningkatan keakurasian Pada Gerakan Pada Prototype Mesin CNC Milling 3 Axis*. SNTTM XIV Akademi Teknik Saroko, Sulawesi Selatan.
- [3] Firsas, T. 2015. *Development of CNC 4-Axis by Modifying Milling Machine EMCO TU 3-Axis*. SNTTM XIV Akademi Teknik Saroko, Sulawesi Selatan, Hal.66-71.
- [4] Harrizal, IS. 2015. *Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin Cnc Milling 3 Axis Menggunakan Close Loop System*. Jom Fteknik: Vol. 4, Hal.1-8..
- [5] Khoir, M. 2011. *Proses Pembuatan Spindel Utama Pada Mesin Bubut Cnc*. Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- [6] Mach3, CNC Controller Software Installation and Configuration Version 3.
- [7] Riawan, MA. 2013. *Rancang Bangun CNC Router Kayu Dengan Menggunakan Control Mach 3*, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya. Hal.197-204.
- [8] Pressman, R.S., 2002. *Rekayasa Perangkat Lunak*, Buku Satu, diterjemahkan oleh: Harnaningrum L.N., Andi, Yogyakarta.
- [9] Syahriza. 2015. *Rancang Bangun Mesin CNC 4 Axis Berbasis PC (Personal Computer)*. Jurnal Teknik Mesin Unsyiah, Vol. 3, No. 2, ISSN 2301-8224.
- [10] Asif Hussain Ansar Md, Taskeen S, et al. 2016. *FEATURES AND APPLICATIONS OF CNC MACHINES AND SYSTEMS*. International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR), Volume 5, Issue 3.
- [11] J. Kurniawan, E., & Jekky, B. 2020. *Rancang Bangun Mesin CNC Lathe Mini 2 Axis*. Jurnal Engine : Energi, Manufaktur, dan Material, 4(2), 83–90.