

Rancang Bangun CNC Mini Router 3 Axis untuk Keperluan Praktikum CAD/CAM

Gatot Eka Pramono, Dwi Yuliaji, Roy Waluyo, Jaenal
Material and Manufacturing Process Research Laboratory
Program Studi Teknik Mesin, FT-UIKA Bogor

Abstrak

Penggunaan dan kebutuhan mesin cnc mini router 3 axis di Indonesia saat ini mengalami peningkatan diantaranya untuk kegiatan produksi dan praktikum disekolah-sekolah kejuruan dan universitas-universitas teknik di Indonesia. Namun harga mesin CNC mini dipasaran masih cukup tinggi yakni berkisar 30-40 jutaan. Sehingga tidak semua sekolah ataupun universitas mampu membelinya. Oleh karena itu perlu adanya langkah-langkah kongkrit untuk mengatasi hal itu diantaranya dengan mendesain dan merancang bangun mesin CNC yang dikhususkan untuk keperluan praktikum. Desain dan rancang bangun mesin CNC mini router 3 axis meliputi pemilihan bahan dan proses produksi, perhitungan daya router, perhitungan defleksi poros, dan menguji kinerja mesin CNC mini router 3 axis. Pada penelitian ini diperoleh daya router minimal untuk memotong segala jenis kayu adalah 336 Watt, dengan torsi router sebesar 0,0211 Nm dan kecepatan putaran pahat minimal adalah 15924 rpm, diameter pahat 6 mm, panjang langkah pada sumbu x sebesar 0,5 m, pada sumbu y sebesar 0,3 m, dan pada sumbu z sebesar 0,1 m. Mesin CNC mini router 3 axis ini mampu digunakan untuk segala jenis kayu dengan tegangan geser maksimum 124 kg/cm². Defleksi maksimal poros dengan beban 20 kg pada sumbu x adalah sebesar 0,48 mm dan pada sumbu y adalah sebesar 0,041 mm. Akurasi gerakan pada sumbu x dan y adalah 0,2 mm. Pemakanan sepanjang sumbu x menghasilkan permukaan benda kerja yang cembung dengan tinggi maksimum cembungan adalah 0,5 mm. Sedangkan pemakanan sepanjang sumbu y menghasilkan permukaan benda kerja yang cekung dengan cekungan maksimum adalah 0,08 mm. Defleksi tools dengan beban 5 kg pada sumbu x adalah 2 mm sedangkan pada sumbu y adalah 1,2 mm.

Kata kunci : CNC, CNC mini, Router.

Pendahuluan

Dewasa ini perkembangan teknologi industri pemesinan di Indonesia sudah semakin meningkat, hal ini dapat dibuktikan dengan semakin modernnya permesinan yang digunakan untuk mengerjakan suatu produk, seperti *Computer Numerical Control (CNC)* yaitu mesin yang telah dilengkapi dengan komputer untuk mempermudah proses kerja mesin[1]. Penggunaan mesin *CNC* di Indonesia dari tahun ke tahun terus meningkat. Saat ini mesin *CNC mini router 3 axis* dipasaran dengan berbagai merk harganya berkisar 30-40 juta per unit. Kisaran harga tersebut tentu saja cukup mahal sehingga tidak dapat dijangkau oleh sekolah-sekolah kejuruan dan lingkungan kampus sehingga masih banyak yang mempelajari mesin *CNC* hanya sebatas teori saja sehingga ilmu yang didapat kurang maksimal, oleh karena itu perlu adanya langkah-langkah konkret untuk mengatasi hal itu diantaranya dengan mendesain dan merancang bangun mesin *CNC mini router 3 axis*.

Mesin *CNC* adalah mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik (data perintah dengan kode angka, huruf, dan simbol) sesuai dengan standar *ISO*[2]. Menurut Roni Permana Saputra et all, perangkat lunak di komputer berfungsi untuk menerjemahkan *NC-Code* yang diinputkan dengan proses interpolasi linier atau interpolasi sirkular berdasarkan input program *NC-Code* dan sebagai antar muka antara operator dengan mesin[2]. Geoff Williams mengatakan ada dua jenis mesin *CNC* yakni mesin *CNC* dengan dua *axis* dan mesin *CNC* dengan tiga *axis*. Mesin *CNC* dua *axis* bergerak secara vertikal dan horizontal yakni bergerak sepanjang sumbu x dan sumbu y sedangkan mesin *CNC* dengan 3 *axis* bergerak secara vertikal, horizontal, dan melintang yakni bergerak sepanjang sumbu x, sumbu y, dan sumbu z[3]. Patrick Hood Daniel dan James Floyd Kelly dalam penelitiannya yang berjudul *Build Your Own CNC Machine* merancang dan membuat mesin *CNC mini router 3 axis* dengan bahan utama rangka terbuat dari MDF fiberboard atau papan yang dibuat dari fiber yang mana bahan ini kurang

kokoh dan keakuratan yang masih rendah sehingga pembuatannya masih diperuntukkan untuk simulasi saja[4]. Will O'Brien dalam penelitiannya yang berjudul *How to: Build Your Own CNC Machine* mendesain dan membuat mesin *CNC mini router 3 axis* dengan bahan utama rangka terbuat dari Teplon yakni plastik kulitas tinggi yang tahan terhadap panas[5]. Nur Suraini Binti Hashim dalam tesisnya yang berjudul *Design of Mini CNC Machine* mendesain *CNC mini* dengan memilih bahan alumunium sebagai bahan rangka dikarenakan bahan ini ringan dan anti karat[6]. Alexander D. Sprunt dalam penelitiannya yang berjudul *A Three Axis CNC Router Design* merancang dan membuat mesin *CNC mini router 3 axis* dengan rangka yang terbuat dari bahan baja stainless sehingga kekokohan dan keakuratannya cukup tinggi[7]. Penelitian ini meliputi pemilihan bahan dan proses produksi, perhitungan daya *router*, perhitungan defleksi maksimum poros pada sumbu x dan sumbu y, perhitungan gaya *buckling* pada sumbu z, dan pengujian kinerja mesin *CNC mini router 3 axis*.

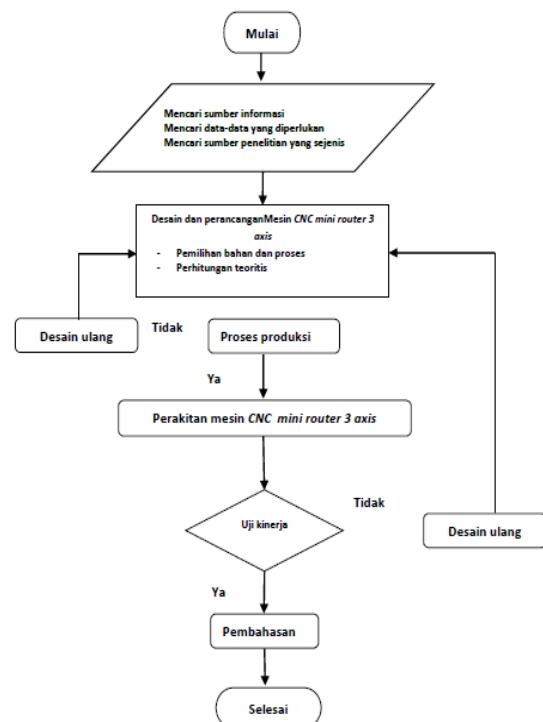
Penelitian ini diharapkan memperoleh desain, menghasilkan prototipe, dan memperoleh data-data hasil uji kinerja mesin *CNC router 3 axis*. Selain itu penelitian ini juga diharapkan dapat mengatasi permasalahan seperti ketiadaan **mesin CNC sebagai sarana praktikum** baik di sekolah-sekolah kejuruan atau di lingkungan kampus-kampus keteknikan.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dimulai dengan mencari sumber informasi, mencari data-data yang diperlukan, dan mencari literatur tentang penelitian yang sejenis atau yang berkaitan dengan penelitian ini. Kemudian membuat konsep desain dan perancangan mesin *CNC mini router 3 axis* yang meliputi pemilihan bahan dan proses, perhitungan secara teoritis, dll. Setelah bahan dan proses dipilih, dan perhitungan teoritis mengenai komponen-komponen mesin *CNC mini router 3 axis* telah dilakukan langkah selanjutnya adalah proses produksi atau pembuatan komponen-komponen mesin *CNC mini router 3 axis* dengan bentuk dan ukuran sesuai dengan konsep desain dan perancangan yang telah dilakukan sebelumnya. Setelah proses produksi selesai maka dilakukan proses pengecekan jika bentuk dan ukuran tidak atau belum sesuai dengan konsep perencanaan maka dilakukan proses perbaikan tetapi jika

bentuk dan ukuran sudah sesuai dengan konsep perencanaan maka dilanjutkan dengan proses selanjutnya yakni proses perakitan mesin *CNC mini router 3 axis* jika proses perakitan sudah selesai maka proses selanjutnya adalah pengujian kinerja mesin *CNC mini router 3 axis* meliputi pengujian kekuatan potong, pengujian dimensi hasil pemakanan/pengujian linearitas, pengujian penyimpangan kerataan hasil pemakanan, pengujian defleksi poros pada sumbu x, pengujian defleksi poros pada sumbu y, pengujian kekuatan tarik *leadscrew*, dan pengujian defleksi maksimum pahat. Setelah pengujian kinerja selesai maka kita peroleh data-data hasil pengujian kinerja mesin *CNC mini router 3 axis* yang selanjutnya data-data tersebut dibandingkan dengan data hasil perhitungan teoritis yang telah dilakukan sebelumnya. Terakhir, hasil perbandingan dibahas dan dianalisis, jika terjadi perbedaan maka akan dicari dan dijelaskan hal-hal yang menjadi penyebab perbedaan tersebut.

Metode penelitian digambarkan dalam diagram alir berikut ini:



Pemilihan bahan dan proses produksi dijelaskan dalam tabel berikut ini:

Tabel 1. Pemilihan Bahan

No	Jenis Komponen	Bahan
1	Rangka	Kayu Mahoni
2	Leadscrew	VCN 150
3	Poros	S45C
4	Dudukan Motor Stepper	S45C
5	Bushing	S45C
6	Kopling	VCN 150
7	Mur Leadscrew	VCN 150

2.2 Uji Kinerja Mesin CNC Mini Router 3 Axis

Uji kinerja mutlak diperlukan dengan tujuan mengetahui kinerja mesin CNC mini router 3 axis. Uji kinerja meliputi pengujian kekuatan potong pahat terhadap segala jenis kayu, pengujian linearitas, pengujian kerataan hasil pemakanan, pengujian defleksi poros pada sumbu x, pengujian defleksi poros pada sumbu y, pengujian kekuatan tarik leadscrew, dan pengujian defleksi maksimum pahat.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

- Memperoleh desain mesin CNC mini router 3 axis.
- Menghasilkan prototipe mesin CNC router 3 axis.
- Memperoleh data-data hasil uji kinerja mesin CNC mini router 3 axis.

Selain tujuan diatas tujuan khusus dari penelitian ini adalah:

- Mengatasi permasalahan ketiadaan mesin CNC sebagai sarana praktikum di Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor dengan membuat mesin CNC mini router 3 axis.
- Menjadikan penelitian ini sebagai cikal bakal dan pelopor untuk penelitian selanjutnya mengenai mesin CNC mini router 3 axis.

Tata Kerja

Tempat Penelitian

Rancang bangun dilaksanakan di *Material and Manufacturing Process (MaMP) Laboratory* Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- Kayu Mahoni

- Kayu Meranti
- Kayu Jati
- Baja S45C
- Baja VCN 150

Peralatan dan mesin-mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Mesin bubut
- Mesin frais
- Mesin bor
- Mesin Las
- Alat Ukur (sigmat, mistar, ruller gate,dll)
- Ragum
- Gergaji mesin untuk kayu
- Gergaji tangan untuk kayu
- dll

Penggunaan Perangkat Lunak (software)

Pada Penelitian ini penggunaan software mutlak diperlukan untuk menggambar, mensimulasikan dan menguji kinerja mesin CNC mini router 3 axis ini. Adapun software yang digunakan yakni Solidwork dan Mach3.

Solidwork

Solidwork digunakan untuk membuat gambar baik gambar dua dimensi ataupun tiga dimensi serta dapat mensimulasikan pergerakan benda secara animasi. Pada penelitian ini solidwork akan digunakan untuk menggambar semua bagian dari mesin CNC mini, merakitnya, serta mensimulasikan mesin CNC mini dalam bentuk gerakan linear sesuai dengan yang direncanakan.

Mach3

Mach3 digunakan untuk mengontrol dan menguji kinerja dari mesin CNC mini, adapun penggunaannya melibatkan komputer untuk memasukkan perintah-perintah diantaranya mengatur pergerakan linear pada setiap axis dengan cara mengatur putaran dan arah putaran motor pada setiap axis pada mesin CNC mini router 3 axis ini.

Hasil dan Bahasan

Perhitungan Daya Router

Daya router yang digunakan bervariasi tergantung pada tujuan penggunaan dari mesin CNC mini itu sendiri. Daya kerja router dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P = \tau \cdot \omega$$

Dimana:

$P = \text{Daya router [W]}$

$\tau = \text{Torsi router [Nm]}$

$\omega = \text{Kecepatan perputaran router [rpm]}$

Torsi pada *router* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$\tau = F \cdot r$$

Dimana:

$F = \text{gaya potong pahat terhadap benda kerja [N]}$

$r = \text{Jarak benda ke pusat rotasi [m]}$

Gaya potong pahat terhadap benda kerja dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$F = \tau_b \cdot A$$

Karena luas penampang potong pahat belum diketahui maka kita menghitungnya dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} A &= t \cdot w \cdot s \\ &= (0,25 \text{ mm})(1 \text{ mm})(2) \\ &= 0,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dimana:

$t = \text{Tebal pisau sayat pahat}$

$w = \text{Kedalaman pemotongan}$

$s = \text{Jumlah mata pahat}$

Setelah luas penampang kita ketahui maka kita dapat menghitung gaya potong pahat terhadap benda kerja dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} F &= \tau_b \cdot A \\ &= (12,4 \text{ N/mm}^2)(0,50 \text{ mm}^2) \\ &= 6,2 \text{ N} \end{aligned}$$

Dimana:

$F = \text{Gaya potong pahat [N]}$

$\tau_b = \text{Tegangan geser bahan [kg/cm}^2]$

$A = \text{Luas penampang potong pahat [m}^2]$

Maka torsi pada *router* adalah:

$$\begin{aligned} \tau &= F \cdot r \\ &= (6,2 \text{ N})(0,0034 \text{ m}) \\ &= 0,0211 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Dimana:

$F = \text{Gaya potong pahat [N]}$

$r = \text{Jarak benda ke pusat Rotasi [m]}$

Putaran *spindle* pada *router* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\omega = \frac{1000 \cdot Cs}{\pi d}$$

Karena Cs belum kita ketahui maka kita dapat menghitungnya dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} Cs &= np \\ &= (150 \text{ rpm})(2 \text{ mm}) \\ &= 300 \text{ mm/menit} \end{aligned}$$

Dimana:

$Cs = \text{Cutting speed [mm/min]}$

$n = \text{putaran motor stepper [rpm]}$

$p = \text{pitch dari leadscrew [mm]}$

Maka putaran *spindle* pada *router* adalah:

$$\omega = (1000 \times 300 \text{ mm/Min}) / (3,14 \times 6 \text{ mm})$$

$$\omega = 15924 \text{ Rpm}$$

Dimana :

$\omega = \text{Kecepatan perputaran router (rpm)}$

$Cs = \text{Cutting Speed (m/menit)}$

$d = \text{Diameter pahat}$

Setelah torsi motor (τ) dan kecepatan putaran *spindle* pada *router* (ω) diketahui maka daya *router* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} P &= \tau \cdot \omega \\ &= (0,0211 \text{ Nm})(15924 \text{ Rpm}) \\ &= 336 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Dimana :

$P = \text{Daya router [W]}$

$\tau = \text{Torsi router [Nm]}$

$\omega = \text{Kecepatan perputaran spindle pada router [Rpm]}$

Perhitungan Defleksi Poros

Data-data yang diperoleh dalam penelitian ini adalah:

- Diameter poros = 16 mm = 0,016 m
- Panjang poros pada sumbu x = 70 cm = 0,7 m
- Panjang poros pada sumbu y = 45 cm = 0,45 m
- Gaya berat pada sumbu x adalah 20 kg = 200 N
- Gaya berat pada setiap poros sumbu x = 100 N
- Gaya berat pada sumbu y adalah 6 kg = 60 N
- Gaya berat pada setiap poros sumbu y = 30 N

Modulus elastisitas bahan S45C adalah:

$$E = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \\ = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

Momen inersia dapat kita ketahui dengan menggunakan persamaan:

$$L = \pi d^4/64 \\ = (3,14)(16 \text{ mm})^4/64 \\ = 3215 \text{ mm}^4$$

5.2.1 Poros sumbu x

Setelah data-data kita peroleh kita dapat menghitung defleksi maksimal poros pada sumbu x dengan menggunakan persamaan:

$$Y_{\text{Max}} = \frac{FL^3}{192 EI} \\ = \frac{(100\text{N})(700 \text{ mm})^3}{192 (2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2)(3215 \text{ mm}^4)} \\ = \frac{(100\text{N})(343 \times 10^6 \text{ mm}^3)}{123456 \times 10^6 \text{ N.mm}^2} \\ = \frac{34300 \text{ Nmm}^3}{123456 \text{ N.mm}^2} \\ = \mathbf{0,28 \text{ mm}}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat dikatakan defleksi maksimal pada poros sumbu x adalah sebesar **0,28 mm**.

5.2.2 Poros sumbu y

Sama halnya dengan defleksi poros pada sumbu x, defleksi poros pada sumbu y juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Y_{\text{Max}} = \frac{FL^3}{192 EI} \\ = \frac{(30\text{N})(450 \text{ mm})^3}{192 (2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2)(3215 \text{ mm}^4)} \\ = \frac{(30\text{N})(91125 \times 10^3 \text{ mm}^3)}{123456 \times 10^6 \text{ N.mm}^2} \\ = \frac{273375 \times 10^4 \text{ Nmm}^3}{123456 \times 10^6 \text{ N.mm}^2} \\ = \frac{273375 \text{ Nmm}^3}{12345600 \text{ N.mm}^2} \\ = \mathbf{0,022 \text{ mm}}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat dikatakan defleksi maksimal pada poros sumbu x sebesar **0,022 mm**.

Perhitungan Gaya Tekukan (*Buckling*) pada poros sumbu z

Untuk menghitung gaya tekukan pada sumbu z menggunakan persamaan:

$$P_{cr} = \frac{4\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

Dimana:

P_{cr} = Beban kritis/gaya buckling [kg]

E = Modulus elastisitas bahan S45C

L = Panjang poros [m]

I = Momen inersia [m⁴]

Karena momen inersia(I) belum kita ketahui maka kita dapat menghitungnya menggunakan persamaan:

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot D^4 \\ = \frac{3,14}{64} \cdot (1,6 \text{ cm})^4 \\ = (0,05)(6,55 \text{ cm}^4) \\ = \mathbf{0,3275 \text{ cm}^4}$$

Dimana:

I = Momen Inersia benda uji [m⁴]

D = Diameter poros [mm]

Setelah momen inersia kita peroleh maka kita dapat menghitung gaya *Buckling* dengan menggunakan persamaan:

$$P_{cr} = \frac{4\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \\ = \frac{4(3,14)^2(2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2)(0,3275 \text{ cm}^4)}{(26 \text{ cm})^2} \\ = \frac{(39,4)(2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2)(0,3275 \text{ cm}^4)}{(26 \text{ cm})^2} \\ = \frac{25807000 \text{ kg.cm}^2}{676 \text{ cm}^2} \\ = \mathbf{38176 \text{ kg}}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat dikatakan gaya buckling pada poros sumbu z adalah sebesar **38176 kg**.

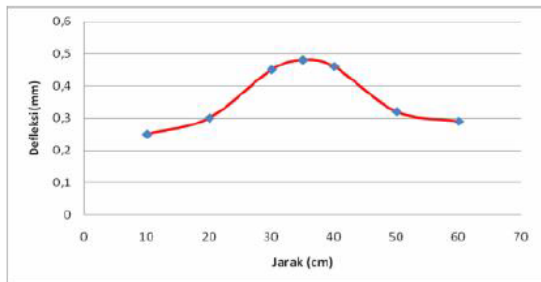
Berdasarkan data-data yang diperoleh dan perhitungan yang dilakukan maka diperoleh daya *router* minimal yang dapat digunakan dalam penelitian ini adalah 336 *watt* dan kecepatan putaran minimal yang digunakan adalah 15924 rpm. Dari hasil tersebut maka dipilihlah *router* kayu dengan daya 450 *watt* dan kecepatan putaran adalah 30000 rpm.

Dari hasil perhitungan teoritis defleksi poros diperoleh bahwa defleksi maksimal poros pada

sumbu x dan y adalah **0,28 mm** dan **0,022 mm** sedangkan hasil pengujian defleksi poros pada sumbu x dan y adalah **0,48 mm** dan **0,041 mm**.

Tabel 3. Hasil Pengujian Defleksi Poros Sumbu X

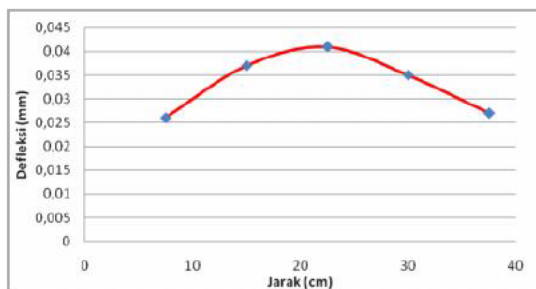
No	Jarak (cm)	Defleksi dengan beban 20 kg (mm)
1	10	0,25
2	20	0,30
3	30	0,45
4	35	0,48
5	40	0,46
6	50	0,32



Gambar 2. Grafik Defleksi Poros Pada Sumbu X

Tabel 4. Hasil Pengujian Defleksi Poros Sumbu Y

No	Jarak (cm)	Defleksi (mm)
1	7,5	0,026
2	15	0,037
3	22,5	0,041
4	30	0,035
5	37,5	0,027

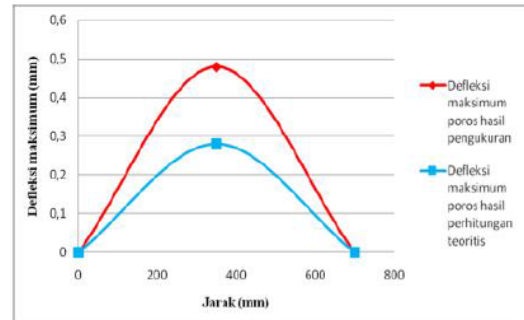


Gambar 3. Grafik Defleksi Poros Pada Sumbu Y

Hasil perhitungan teoritis defleksi poros pada sumbu x dan **sumbu y** masih lebih kecil dibandingkan dengan hasil uji kinerja defleksi poros. Lebih jelasnya bisa dilihat pada tabel dan gambar berikut ini:

Tabel 5. Perbandingan Defleksi Maksimum Poros Hasil Perhitungan Teoritis dan Pengukuran

Defleksi maksimum poros hasil perhitungan (mm)		Defleksi maksimum poros hasil pengukuran (mm)	
Sumbu x	Sumbu y	Sumbu x	Sumbu y
0,28	0,022	0,48	0,041



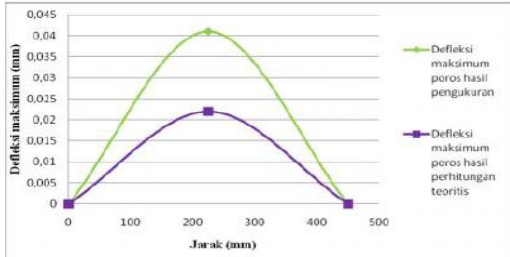
Gambar 4. Grafik Perbandingan Defleksi Maksimum Poros Hasil Perhitungan Secara Teoritis dan Pengujian Pada Sumbu X.

Berdasarkan pengujian kinerja yang telah dilakukan maka diperoleh data-data hasil pengujian kinerja yakni mesin *CNC mini router 3 axis* mampu memotong kayu dengan tegangan geser maksimum 124 kg/cm^2 , hal itu telah dibuktikan dengan penyayatan terhadap dua jenis kayu yakni kayu meranti dan kayu jati. Kayu meranti dan kayu jati termasuk dalam kategori jenis kayu kuat kelas dua dan kelas satu. Pengujian kinerja menunjukkan kayu meranti dan kayu jati dengan mudah terpotong sehingga bisa dikatakan mesin *CNC mini router 3 axis* ini mampu digunakan untuk segala jenis kayu dengan tegangan geser maksimum 124 kg/cm^2 .

Pada pengujian linearitas terjadi perbedaan antar hasil masukan dengan hasil sebenarnya, namun perbedaan tersebut relatif kecil yakni 0,2 mm baik sepanjang sumbu x ataupun sumbu y. Pada sumbu x perintah masukan adalah 50,0 mm dan pada sumbu y adalah 100,0 mm. Hasil pengukuran sebenarnya pada sumbu x adalah 50,2 mm dan pada sumbu y adalah 100,2 mm. Lihat tabel berikut ini :

Tabel 6. Hasil pengujian linearitas

No	Ukuran Masukan	Ukuran Sebenarnya	Keterangan
1	100,0	100,2	Gerakan pada Sumbu Y
2	50,0	50,2	Gerakan pada Sumbu X

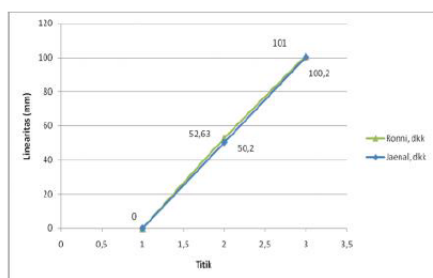


Gambar 5. Grafik Perbandingan Defleksi Maksimum Poros Hasil Perhitungan Secara Teoritis Dan Pengujian Pada Sumbu Y.

Penelitian sebelumnya yang juga melakukan pengujian linearitas dilakukan oleh Ronni Permana Saputra, dkk dalam jurnal nya yang berjudul *Desain dan Implementasi Sistem Kendali CNC Router Menggunakan Flame Cutting Machine*. Hasil uji linearitas yang dilakukannya pada sumbu x dan y terdapat selisih yang cukup besa antara perintah masukan dan hasil sebenarnya. Misalnya saja perintah masukan pada sumbu x adalah 50,00 mm tetapi hasil ukuran sebenarnya adalah 52,63 mm sedangkan pada sumbu y perintah masukan adalah 100,00 mm tetapi hasil pengukuran sebenarnya adalah 101,00 mm [2]. Oleh karena bisa dikatakan itu mesin *CNC Mini Router 3 Axis* yang dibuat oleh penulis lebih baik dibandingkan dengan yang dibuat oleh Ronni Permana Saputra, dkk dalam hal pengujian linearitas. Perbandingan uji linearitas antara mesin yang dibuat penulis dan Ronni Saputra, dkk dijelaskan dalam tabel dan grafik berikut ini :

Tabel 7. Perbandingan Hasil Uji Linearitas

No	Input	Jaenal, dkk	Ronni, dkk	Ket.
1	50,0	50,2	52,63	Sumbu x
2	100,0	100,2	101	Sumbu y

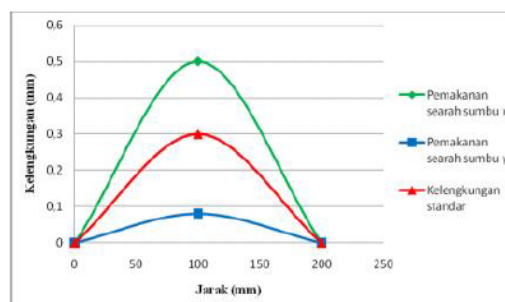


Gambar 6. Grafik Perbandingan Uji Linearitas.

Pada pengujian penyimpangan kerataan, pemakanan yang bergerak sepanjang sumbu x berbentuk cembung dengan ketinggian maksimum cembungan adalah 0,5 mm, sedangkan pemakanan yang bergerak sepanjang sumbu y berbentuk cekung pula dengan kedalaman maksimum cekungan tersebut adalah 0,08 mm. Permukaan benda kerja yang cenderung cembung dan cekung disebabkan oleh defleksi yang terjadi pada poros sumbu x dan sumbu y. Menurut SNI 07-0601 tahun 2006 standar kelengkungan yang diijinkan adalah 0,3 mm per 20 cm[14]. Berdasarkan standar tersebut kita dapat membandingkan nilai standar tersebut dengan hasil pengujian penyimpangan kerataan. Kelengkungan maksimum benda kerja sepanjang sumbu x adalah 0,5 mm atau 0,2 lebih besar dibandingkan dengan nilai standar kelengkungan pada SNI 07-0601 tahun 2006 yakni sebesar 0,3 mm. Sedangkan kelengkungan maksimal benda kerja sepanjang sumbu y adalah 0,08 mm atau 0,22 lebih kecil dibandingkan dengan nilai standar kelengkungan pada SNI 07-0601 tahun 2006 yakni sebesar 0,3 mm. Kelengkungan searah sumbu x berada sedikit diluar nilai standar sedangkan kelengkungan sepanjang sumbu y bisa dikatakan cukup baik karena berada didalam nilai standar. Untuk lebih jelsnya bisa dilihat pada tabel dan grafik dibawah ini :

Tabel 8. Perbandingan Nilai Kelengkungan Maksimum Pemakanan Pada Sumbu X, Sumbu Y, Dengan Nilai Standarnya.

No	Nilai Standar	Sumbu x	Sumbu y
1	0	0	0
2	0,3	0,5	0,08
3	0	0	0



Gambar 7. Perbandingan Pemakanan Searah Sumbu X, Y, Dan Standar.

Pada sumbu x ataupun poros pada sumbu y terdapat perbedaan hasil yang cukup signifikan. Defleksi maksimal poros pada sumbu x adalah sebesar 0,48 mm atau 4,8 x 10-

4 m dan defleksi maksimal poros pada sumbu y adalah sebesar 0,041 mm atau $4,1 \times 10^{-5}$ m. Perbedaan nilai defleksi maksimal poros pada sumbu x dan poros pada sumbu y disebabkan oleh perbedaan panjang poros dan beban yang ditopang poros. Panjang poros pada sumbu x adalah 70 cm sedangkan panjang poros pada sumbu y adalah 45 cm. Adapun beban yang ditopang poros pada sumbu x adalah 20 kg sedangkan beban yang ditopang oleh poros pada sumbu y adalah 6 kg.

Pada pengujian kekuatan tarik *leadscrew* pada sumbu x, berdasarkan data tabel dan grafik terlihat bahwa semakin besar beban yang diberikan maka semakin rendah gaya tarik dari *leadscrew*, hal itu disebabkan oleh semakin rendah perputaran dari *motor stepper*, maka putaran *leadscrew* menjadi semakin lambat sehingga menyebabkan semakin rendah gaya tarik dari *leadscrew*.

Pada pengujian defleksi *tools* yang searah sumbu x mengalami defleksi sebesar 2 mm dari posisi awal, dan pada sumbu y mengalami defleksi sebesar 1,2 mm. Hal itu disebabkan oleh kelenturan pada y *axis body* dan z *axis body* yang mana kedua bagian itu terbuat dari kayu mahoni. Selain itu pengujian dilakukan pada jarak maksimal y *axis body* bergerak kebawah sehingga panjang z *axis body* cenderung defleksi.



Gambar 8. Pengujian Defleksi *Tools*

6. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan teoritis dan pengujian kinerja mesin *CNC mini router 3 axis* maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Desain Mesin *CNC mini router 3 axis* adalah menggunakan rangka yang terbuat dari kayu mahoni, jenis *slide* menggunakan *linear bearing* dan poros yang terbuat dari bahan

baja *S45C*, Diameter poros adalah 16 mm dengan panjang poros pada sumbu x 0,7 m, pada sumbu y 0,45 m, dan pada sumbu z adalah 0,26 m. Ulir daya menggunakan *leadscrew* dengan diameter 16 mm dan terbuat dari bahan baja *VCN 150* dengan bentuk ulir trapesium dan *pitch* 2 mm, *router* yang digunakan adalah *router* kayu dengan daya diatas 336 Watt, putaran *spindel* diatas 15924 rpm, dan diameter pahat adalah 6 mm. Jenis motor yang digunakan untuk menggerakkan ulir transmisi adalah *motor stepper*.

- 2) Prototipe yang dihasilkan adalah mesin CNC jenis milling dengan jumlah *axis* adalah tiga *axis* dan memiliki dimensi panjang 0,85 m, lebar 0,60 m, dan tinggi 0,60 m, dengan panjang langkah pada sumbu x sebesar 0,5 m, pada sumbu y sebesar 0,3 m, dan pada sumbu z sebesar 0,1 m. Jenis sambungan menggunakan sambungan baut dan scrup. Tebal kayu rangka adalah 0,02 m. Jenis motor yang digunakan untuk menggerakkan ulir transmisi adalah *motor stepper*. Perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk memasukan perintah adalah *Mach3*.
- 3) Mesin *CNC mini router 3 axis* ini mampu digunakan untuk segala jenis kayu dengan tegangan geser maksimum 124 kg/cm². Defleksi maksimal poros dengan beban 20 kg pada sumbu x adalah sebesar 0,48 mm atau $4,8 \times 10^{-4}$ m dan pada sumbu y adalah sebesar 0,041 mm atau $4,1 \times 10^{-5}$ m. Akurasi gerakan pada sumbu x dan y adalah 0,2 mm. Pemakanan sepanjang sumbu x menghasilkan permukaan benda kerja yang cembung dengan tinggi maksimum cembungan adalah 0,5 mm. Sedangkan pemakanan sepanjang sumbu y menghasilkan permukaan benda kerja yang cekung dengan cekungan maksimum adalah 0,08 mm. Defleksi *tools* dengan beban 5 kg pada sumbu x adalah 2 mm sedangkan pada sumbu y adalah 1,2 mm.

Notasi

- P Daya *router* [W]
 τ Torsi [Nm]
 ω Kecepatan perputaran *router* [rpm]
t Tebal pisau sayat pahat [mm]
w Kedalaman pemotongan [mm]
s Jumlah mata pahat -
n Putaran *motor stepper* [rpm]

p *pitch* dari *leadscrew* [mm]
 Pcr Beban kritis/gaya buckling [kg]
 E Modulus elastisitas bahan -
 L Panjang poros [m]
 I Momen inersia [m⁴]
 d Diameter poros [mm]
 F Gaya berat yang bekerja pada *router* [N]
 r Jarak benda ke pusat rotasi [m]
 m Massa dalam satuan [kg]
 g Percepatan gravitasi [m/s²]
 Cs *Cutting Speed* [m/menit]
 d Diameter pahat [m]
 E Modulus elastisitas bahan [N/mm²]
 I Momen inersia batang

Daftar Pustaka

- [1] Kartini, Adelina Fitra Kusuma Kartini-Josaphat Pramudijanto., *Sistem Pengaturan Gerakan Tool Pada Prototipe Mesin Cnc Dengan Kontroler Disturbance Observer*, Fakultas Teknoloi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, 2012.
- [2] Saputra, Roni Permana et all., *Desain dan Implementasi Sistem Kendali CNC Router Menggunakan PC Untuk Flame Cutting Machine*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2011.
- [3] Williams, Geoff., *CNC Robotic-Built Your Own Workshop Bot*, The Mc. Graw-Hill Company, Newyork, 2003.
- [4] Daniel, Patrick Hood-James Floyd Kelly., *Build Your Own CNC Machine*, Technology in Action, Newyork, 2009.
- [5] O'Brien, Will., *How to: Build Your Own CNC Machine*, 2007.
- [6] Suraini binti Hashim, Nur., *Design of Mini CNC Machine*, Faculty of Manufacturing Engineering University Malaysia, Pahang, 2012.
- [7] D. Sprunt, Alexander., *A Three CNC Router Design*, Massachusetts Institute Of Technology, Massachussets, 2000.
- [8] Nieman, Gustaf., *Elemen Mesin Jilid 1, 2, 3.*, PT Erlangga, Jakarta, 1987.
- [9] Suga, Kiyokatsu – Sularso., *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, PT Pradnyaparamita, Jakarta, 2004.
- [10] Tata, Surdia, *Pengetahuan Bahan Teknik, cetakan keenam*, Pradnya Paramita, 2005
- [11] Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, *Petunjuk Praktis Sifat-sifat Dasar Jenis Kayu Indonesia, cetakan ketiga*, PT. Pusaka Permata Persada, 2008.
- [12] Rochim, T., *Proses Pemesinan*, Higher Education Development support project, Jurusan Teknik Mesin FTI-ITB, Bandung, 1993.
- [13] Harsono, Wiryosumarto., *Teknologi Pengelasan Logam*, Pradnya Paramita, Jakarta, 2004.
- [14] BSN, SNI 07-0601-2006, *Baja Lembaran, Pelat, dan Gulungan Canai Panas (Bj P)*, BSN, Jakarta, 2006.

Mini_CNC_Wood_engraving_Mach