

PENGARUH PENYIMPANGAN GERAK TERHADAP SUMBU AXIS XYZ PADA CNC ROUTER 3018

THE EFFECT OF MOTION DEVIATION TO XYZ AXIS ON THE CNC ROUTER 3018

Iskandar¹⁾, Almadora Anwar Sani¹⁾, Didi Suryana¹⁾, Ogi Meita Utami¹⁾,
Zainuddin¹⁾, Indra HB¹⁾, Muhammad Nugraha²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Prodi D4 Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Sriwijaya

²⁾ Mahasiswa Prodi D4 Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar, Palembang, Sumatera Selatan

*email corresponding: almadora@polsri.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Diperbaiki:
Revised
13/10/2022

Diterima:
Accepted
28/10/2022

Publikasi Online:
Online-Published
31/10/2022

ABSTRAK

Saat ini industri memasuki zaman Revolusi Industri 4.0. Era disrupsi teknologi semakin maju. Tujuan utama revolusi industri ini adalah untuk menstabilkan peredaran barang dan kebutuhan. Kemajuan teknologi membutuhkan alat-alat yang dapat digunakan untuk memproduksi komponen-komponen yang diperlukan, termasuk mesin CNC. Dalam penelitian ini menggunakan mesin CNC Router 3018. Pembuatan objek spesimen memanfaatkan data dari pemrograman Computer Aided Design (CAD) yang telah dibuat terlebih dahulu. Setelah itu di import kedalam aplikasi pemrograman Computer Aided Manufacturing (CAM) sehingga didapatkan NC Code dan dapat mengoperasikan mesin sesuai bentuk yang didesain. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penyimpangan gerak terhadap sumbu axis XYZ yang ditimbulkan oleh CNC Router 3018. Material menggunakan akrilik resin setebal 10 mm kemudian hasil data pengukuran dianalisis menggunakan ANOVA "One Ways". Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan terdapat kondisi penyimpangan tertinggi pada setiap sumbu gerak, yaitu: Sumbu X: penyimpangan 0,6%; Sumbu Y: penyimpangan 0,4%; Sumbu Z: penyimpangan 0,77%. CNC Router 3018 dapat bekerja dengan baik untuk pengerjaan seperti grafit, dan memotong.

Kata Kunci : CNC Router 3018, Akrilik resin, ANOVA, CNC Axis

ABSTRACT

The industry is currently transitioning into the Industrial Revolution 4.0 era. Technology disruption is becoming more prevalent. The major goal of this industrial revolution is to maintain the flow of essentials and goods. Technology advancements demand equipment, such as CNC machines, that can be utilized to produce the required components. Using a CNC Router 3018 machine for this investigation. Data from previously generated Computer Aided Design (CAD) programming is used during the production of specimen objects. It is then imported into the Computer Aided Manufacturing (CAM) programming software in order to generate the NC Code and operate the machine in accordance with the intended form. This research was done to find out how the CNC Router 3018's motion deviation on the XYZ axis affected things. Acrylic resin with a 10 mm thickness is used in the substance. The results of the measurement data analysis were then put through a "One Ways" ANOVA. Motion axis, specifically: X axis: deviation 0.6%; Y axis: 0.4% deviation; Z axis: deviation 0.77%. The CNC Router 3018 is effective for tasks like cutting and engraving.

Keywords : CNC Router 3018, Acrylic resin, ANOVA, CNC Axis

©2022 The Authors. Published by
AUSTENIT (Indexed in SINTA)

doi:
[10.53893/austenit.v14i2.5759](https://doi.org/10.53893/austenit.v14i2.5759)

1. PENDAHULUAN

Era perkembangan teknologi manufaktur di Indonesia berjalan dengan kecepatan yang pesat. Jelaslah bahwa teknologi memegang peranan penting dalam segala aktivitas manusia, karena manusia memiliki kemampuan yang sangat terbatas untuk menyelesaikan pekerjaan tanpa bantuan teknologi. Salah satu bentuk teknologi yang dapat membantu aktivitas manusia dalam produksi adalah *mesin CNC ROUTER 3018*. Jenis CNC ini adalah versi yang lebih kecil dari CNC biasa dan sangat berguna untuk pengukiran dan pencetakan skala kecil.

CNC merupakan salah satu jenis mesin yang lahir dan berkembang seiring dengan kemajuan teknologi manufaktur, ukuran/akurasi yang tepat untuk dapat melaksanakan proses pemesinan dengan presisi tinggi yang merupakan dan harus menjadi hasil di antaranya. Benda kerja dan benda kerja lain yang dapat menghasilkan produk dalam jumlah besar dalam waktu yang relatif singkat dalam skala besar. (Saputra, R. P et al., 2011) Dokumen ini menjelaskan desain sistem *control router* berbasis *numerical control (NC)* menggunakan *personal computer (PC)* untuk mengimplementasikan *Flame Cutting Machine (FCM)*. Masukan kode NC ke komputer diubah menjadi sinyal perintah, mengirim dari komputer ke komputer mikro, efektor akhir mesin digerakkan secara bersamaan pada sumbu X dan Y berdasarkan hasil perhitungan interpolasi linier, dan interpolasi melingkar dikendalikan pada PC. Sistem kontrol ini mengimplementasikan *FCM* dengan menghubungkan output kontrol mikrokontroler berupa motor DC ke driver aktuator *FCM*. Hasil yang diperoleh berupa *prototype* sistem kendali *CNC Router* yang diimplementasikan dalam *FCM*, mampu melakukan interpolasi linier dan sirkular.

Menurut (Yulius E, E., & Sirama., 2015) Kebutuhan akan mesin *CNC milling 5-axis* sangat melonjak baru-baru ini. Peningkatan ini menyebabkan meningkatnya kebutuhan untuk menangani *geometry* yang kompleks serta meminimalkan *preparation time*. Ketidak akuratan yang disebabkan oleh mesin disebabkan oleh ketidak akuratan kontrol, ketidak akuratan desain, dan ketidak akuratan proses pemesinan, atau kombinasi dari ketiganya.

Metode pengukuran adalah bidang ilmu pengetahuan dan teknologi yang sangat luas yang mencakup masalah pengumpulan, pemrosesan, pengkondisian, dan analisis data (Tribhuwana, A., 2018).

Mekanika manufaktur membutuhkan presisi, karena sangat berpengaruh dalam melakukan eksperimen di dunia nyata. Jika hasil mekanik tidak akurat, gerakan poros akan berisik, licin, atau tidak bergerak sama sekali. (Imran, A et al., 2019).

Mesin Milling CNC (*Computer Numerical Controlled*) merupakan perpaduan antara teknologi

CNC dan mesin milling, CNC digunakan untuk mengontrol pergerakan proses pemotongan, *router* digunakan sebagai pemutar alat pemotong, mesin ini menggunakan putaran, mata potong berputar pada sumbunya untuk melakukan proses pemakanan benda kerja, ukiran dan pemotongan (Ma'arif, K et al., 2021).

Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa parameter *dept of cut*, *cutting speed* dan *spindle speed* memiliki pengaruh yang besar terhadap kekasaran permukaan benda kerja dan mempengaruhi getaran induksi secara relatif. Juga telah ditunjukkan bahwa getaran yang diinduksi dan kekasaran permukaan benda kerja sebanding dengan area mesin dari kedalaman potong, kecepatan potong, dan overhang (Izelu, C. O et al., 2013).

Faktor penyebab kurang akuratnya atau presisinya hasil pengujian dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, (Syaifudin, M. U., & Syafri, S. U., 2017) antara lain: Misalnya. :

- Perbedaan pengukuran kerataan, kelengkungan dan kelurusan antara rel Y1, Y2 dan X1, X2 menyebabkan kerja mesin CNC menjadi optimal, sehingga hasil kerja yang dilakukan tidak sesuai dengan desain yang dirancang.
- Mur spindel rusak dan ketika terkunci putaran pahat menyebabkan mur mengencang.

Hasil kalibrasi ini dimaksudkan untuk mengetahui deviasi mesin sebesar 0,01 mm pada sumbu X, 0,01 mm pada sumbu Y dan 0,02 mm pada sumbu Z. Dengan proses kalibrasi ini, Anda dapat mengharapkan router CNC kayu ini bekerja secara efektif, dan akurat pada benda kerja Anda (Bisono, F., 2017).

Dari segi waktu pengerjaan, Oleh karena itu perlu memperhitungkan hasil dari router CNC dan mencari solusi untuk mendapatkan waktu yang optimal. (Malik, I et al., 2019).

Dalam percobaan pemesinan *CNC ROUTER*, pemrograman manual menghasilkan deviasi maksimum 0,90 mm untuk bentuk segi enam dan deviasi minimum 0,0053 mm untuk bentuk kotak. Hasil integrasi data di NC CAD/CAM HSMxpress menunjukkan penyimpangan dalam hasil produk juga. Artinya, segi enam 0,07085195 mm dan segi enam terkecil 0,0181659 mm (Prabowo, G., 2016).

Keakuratan proses pemesinan benda kerja pada mesin milling CNC dipengaruhi oleh kecepatan spindel, laju gerak makan dan kedalaman potong. 91,8% pada sumbu X, 74,3% pada sumbu Y, 5,5% pada sumbu Z (Malik, I et al., 2019).

Sistem kontrol untuk mesin CNC yang dirancang dengan sistem kontrol loop tertutup di mana sakelar batas ada sebagai sensor umpan balik ke motor. Jadi jika mesin *track* mengalami gangguan (*failure*), sensor memerintahkan spindel

untuk kembali ke posisi awal (Harrizal, I et al., 2017).

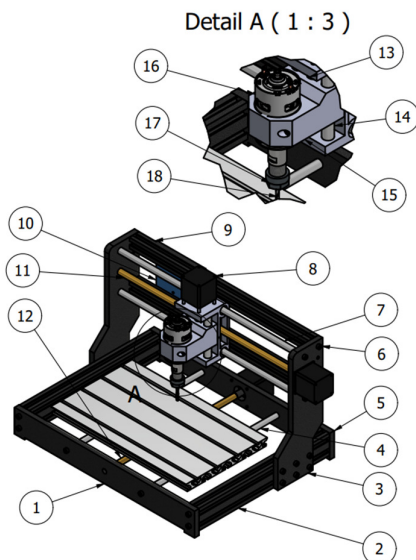
Hasil penelitian (Basjaruddin, N. C et al., 2014) menunjukkan bahwa kontroler tingkat tinggi ACC berbasis logika fuzzy bekerja dengan baik. Untuk mencapai kinerja yang optimal, baik fungsi keanggotaan input maupun fungsi keanggotaan output harus ditingkatkan. Selain itu, arah kendaraan harus diatur mengikuti kendaraan di depan agar pengujian lebih akurat. Sebagai input mencapai kinerja kontrol yang lebih baik, controller juga perlu dikembangkan dengan peningkatan kecepatan. Mesin CNC dapat digunakan untuk memotong, mengukir dan menandai kayu untuk membentuk objek 2D atau 3D dengan akurasi 98,5 ° dan 100 ° (Ginting, R et al., 2017).

The test result showed that the machine accuracy is about 99.5 percent for X and Y axis and 96 percent for Z axis. Menurut (Bangse, K et al., 2020) hasil akurasi grakan mesin cnc router menunjukkan bahwa akurasi mesin sekitar 99,5 persen untuk sumbu X dan Y dan 96 persen untuk sumbu Z.

Berdasarkan penjelasan diatas, maka perlu dilakukannya pengujian secara *experimental* mengenai penyimpangan gerak terhadap sumbu X Y dan Z. Jika gerakan mesin router terhadap sumbu axis tidak sesuai, maka hasil produk tidak baik. Penelitian ini sangat berguna karena dapat berdampak langsung pada kualitas hasil produk dari proses permesinan dan efisiensi dalam pengerjaan.

2. BAHAN DAN METODA

Desain mesin *CNC Router 3018* dengan spesifikasi bagian elemen bisa ditampilkan pada Gambar 1.

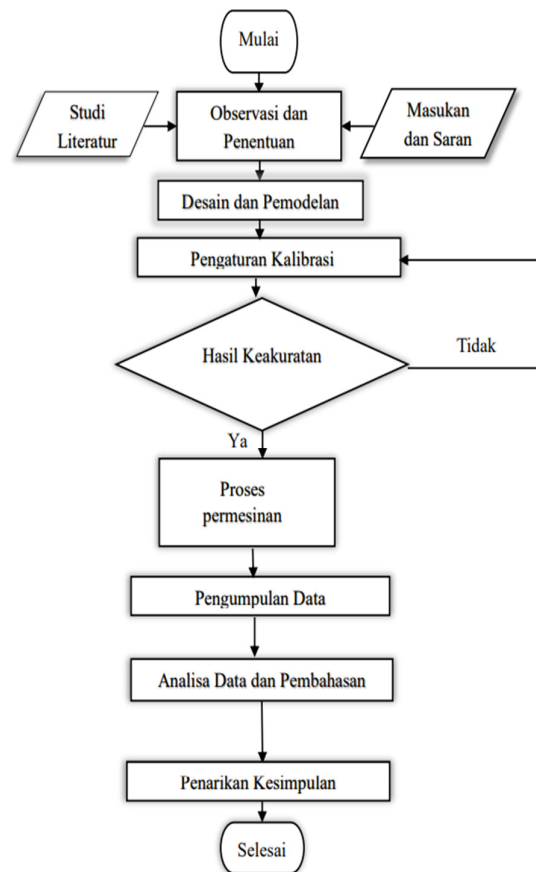


Gambar 1. Desain mesin CNC Router 3018.

Keterangan :

- 1) *Front Bracket*
- 2) *V-Slot Aluminium Profile 40x20x290mm*
- 3) *Side Bracket*
- 4) *Smooth Rod Ø10x300mm*
- 5) *Back Bracket*
- 6) *Hexagon Socket Head Cap Screws M5*
- 7) *Smooth Rod Ø10x400mm*
- 8) *Motor Stepper Nema 17*
- 9) *V-Slot Aluminium Profile 20x20x398mm*
- 10) *Arduino Nano + Ramps*
- 11) *Lead Screw Ø10x400mm*
- 12) *Lead Screw Ø10x280mm*
- 13) *Lead Screw Ø10x82mm*
- 14) *Smooth Rod Ø12x82*
- 15) *Motor Holder*
- 16) *Motor DC 24v*
- 17) *Arbor*
- 18) *Endmill Cutter Ø3mm*

Untuk menjelaskan permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini maka metode yang digunakan meliputi observasi, yang dijelaskan dengan *flow chart* penelitian, gambar 2.



Gambar 2. Flow Chart Penelitian

2.1 Alat dan Bahan Penelitian

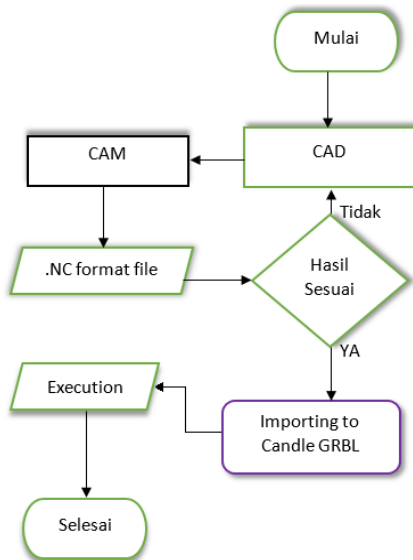
Penulis menggunakan alat-alat dan bahan penelitian yang diperlukan saat pembuatan dan pengukuran adalah seperti berikut ini :

- 1) CNC Router 3018
- 2) Laptop
- 3) Jangka Sorong Ketelitian 0.01 mm
- 4) Autodesk® Inventor®
- 5) Autodesk® Fusion 360®
- 6) Candle GRBL
- 7) Acrilic Resin 10mm

2.2 Metode Analisa Penelitian

Untuk melakukan analisa pengujian penyimpangan dilakukan beberapa tahap antara lain, meliputi :

2.2.1 Proses Pembuatan Spesimen.



Gambar 3. Flow Chart Proses Pembuatan Spesimen

- 1) Spesimen didesain menggunakan *software Autodesk® Inventor® Student Version* lalu save dengan format file (.ipt).
- 2) Membuka *software Autodesk® Fusion 360®* dan import file yang sudah di desain menggunakan *Autodesk® Inventor® Student Version*, dan tentukan arah gerak dan parameter yang digunakan dalam pemakanan.
- 3) Dengan menggunakan *software Autodesk® Fusion 360®* akan didapatkan *NC CODE* yang program file yang akan menggerakkan *CNC Router 3018* sesuai arah gerak dan parameter yang digunakan dalam pemakanan yang sudah dibuat dengan

software Autodesk® Fusion 360® lalu Save dengan format file .nc

- 4) Membuka *software Candle GRBL* dan import file *NC CODE* yang sudah didapatkan menggunakan *software Autodesk® Fusion 360®*.
- 5) Kemudian dilanjutkan dengan pengaturan posisi awal *cutting tool*, dan dilakukan proses *manufacturing* dengan menggunakan alat *CNC Router 3018* untuk mendapatkan *specimen*.

2.2.2 Langkah-Langkah Pengukuran

- 1) Menyiapkan dan memeriksa benda kerja yang akan digunakan untuk dilakukan pengukuran.
- 2) Menyiapkan kertas dan pena yang digunakan untuk mencatat pengukuran.
- 3) Memeriksa peralatan menggunakan (*vernier calipers* dengan toleransi ketelitian 0,01mm)
- 4) Mencatat ukuran benda kerja X (panjang), Y (lebar), dan Z (tebal).
- 5) Kemudian melanjutkan analisa dengan perhitungan *Analysis of Variance (ANOVA)* metode “*One Way*”

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penelitian

Hasil pengambilan data dan pengujian maka didapat data hasil seperti Tabel 1. Dibawah :

Tabel 1. Hasil Pengujian *Specimen*

No	X (35 mm)	Y(35 mm)	Z(5 mm)
1	34,76	34,96	5,01
2	34,99	35,06	5
3	34,85	34,95	4,99
4	35	35	5,01
5	35,36	35,33	4,91
6	35,42	35,35	4,9
7	35,61	35,26	4,97
8	35,38	35,14	4,9

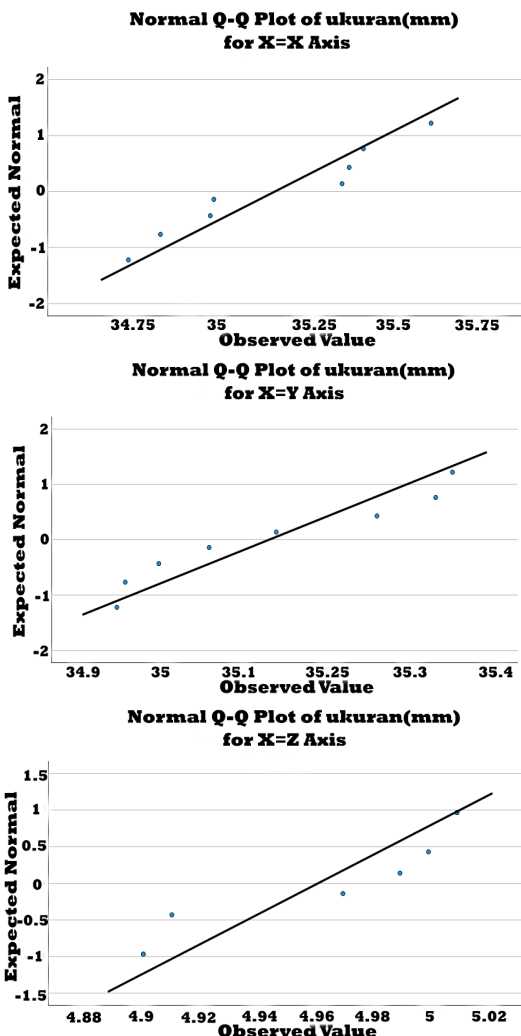
Tabel 1 diatas merupakan hasil pengambilan data dari proses pengujian mesin dengan menggunakan mesin *CNC Router 3018*, dengan sumbu X yang didesain dengan ukuran 35 mm, Y dengan ukuran 35 mm, dan Z dengan ukuran 5 mm dan didapatkan hasil seperti tabel diatas. Hasil tabel 1 diatas adalah penyimpangan gerakan axis XYZ yang didapat. Rata-rata penyimpangan terhadap sumbu X : 35,171; sumbu Y : 35,131; dan sumbu Z : 4,961.

3.2 Analisis Data Hasil Uji Pengukuran

Hasil pengambilan data terhadap *test specimen* pada Tabel 1. diatas, maka didapatkan poin mean, standar deviasi, minimum, maksimum, dan proporsi dari setiap jawaban dan koefisien dalam tes, kemudian dimasukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Mean, Standar Deviasi, Minimum, Maksimum, dan rasio dari hasil uji spesimen.

95% Confidence Interval for Mean				
N		Mean	Std. Deviation	Std. Error
X	8	35.1713	.30894	.10923
Y	8	35.1313	.16409	.05802
Z	8	4.9613	.04970	4.9197
Total	24	25.0879	14.53911	2.96778
Lower Bound		Upper Bound	Minimum	Maximum
X	34.9130	35.4295	34.76	35.61
Y	34.9941	35.2684	34.95	35.35
Z	4.9197	5.0028	4.90	5.01
Total	18.9486	31.2272	4.90	35.61



Gambar 4. Grafik Hasil Q-Q Plot Sumbu X, Y, Z.

Gambar 4 menjelaskan tentang seberapa besar penyimpangan yang dihasilkan *CNC Router 3018* saat melakukan proses pengerjaan. Dari data pengukuran pada Tabel 2 dan Tabel 3 dapat dianalisis untuk pengaruh faktor terhadap penyimpangan gerak sumbu spesimen uji yang dibuat menggunakan proses pemakanan pada *CNC Router 3018* dengan analisis varians (ANOVA) yang didukung oleh perangkat lunak *IBM SPSS Statistic*.

Tabel 3. Hasil ANOVA dari spesimen uji penyimpangan gerak sumbu

Sum Of Squares		Df	Sig
Between Group	4860.999	2	<.,001
Within Group	.874	21	
Total	4861.873	23	
Mean Square		F	
Between Group	2430.499	58407.917	
Within Group	.042		

Tabel 3 menunjukkan hasil yang diperoleh dari perhitungan ANOVA pola uji deviasi gerak sumbu. Hipotesis dapat diuji seperti ini :

- 1) Penentuan hipotesa
 - Jika $F_{hitung} < F_{tabel} (H_0)$ yang diuji tidak berefek dari faktor penyimpangan gerak sumbu.
 - Jika $F_{hitung} > F_{tabel} (H_1)$ yang diuji berpengaruh dari faktor terhadap penyimpangan gerak sumbu.
- 2) Menentukan F_{hitung}
 Dari perhitungan anova yang ditunjukkan pada table sebelumnya didapatkan $F_{hitung} = 58407,917$.
- 3) Menentukan F_{tabel}
 Kita dapat menentukan F_{tabel} dengan cara melihat table statiska(lampiran) dengan *significant level* 0,05 dan *df (various variables)* = 2 dan *df 2 (n-k-1)* yaitu $24 - 2 - 1 = 21$, dapat kita lihat F_{tabel} sebesar 3,47.
- 4) Kriteria pengujian
 Dari data yang didapat, didapatkan hasil sebagai berikut :
 - $F_{hitung} 58407,917 > F_{tabel} 3,47$.
- 5) Kesimpulan
 Dikarenakan $F_{hitung} 58407,917 > F_{tabel} 3,47$. Maka (H_1) diterima, yang artinya material yang diuji berpengaruh dari faktor terhadap penyimpangan gerak sumbu.

Dari hasil perhitungan *One-Way ANOVA* diatas dapat disimpulkan bahwa $F_{hitung} 58407,917 > F_{tabel} 3,47$, yang artinya (H_1) diterima, sehingga hasil dari material yang diuji berpengaruh dari faktor terhadap penyimpangan gerak sumbu. Dengan Persentase Kontribusi Faktor sebesar 95%, dan sisa dikarenakan faktor getaran, aplikasi,dll.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan diatas. Penulis mengambil kesimpulan yang telah dilakukan, maka hasil dari analisa menggunakan ANOVA yang sudah diterapkan, penulis dapat menyimpulkan bahwa penyimpangan terhadap gerak sumbu XYZ berpengaruh pada hasil permesinan, dan dapat dibuktikan pada pembahasan dengan $F_{hitung} 58407,917 > F_{tabel} 3,47$. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan terdapat kondisi penyimpangan tertinggi pada setiap sumbu gerak, yaitu: Sumbu X: 34,76 \Leftrightarrow 35,61 (penyimpangan 0,6%) ; Sumbu Y: 34,95 \Leftrightarrow 35,35 (penyimpangan 0,4%) ; Sumbu Z: 4,90 \Leftrightarrow 5,01 (penyimpangan 0,77%). Jadi, CNC Router 3018 dapat bekerja dengan baik untuk pengerjaan dengan tingkat presisi yang tidak terlalu tinggi seperti grafit, dan ukiran. Namun tidak cocok untuk pengerjaan dengan tingkat presisi yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Tribhuwana, A. (2018). Perbandingan Pengukuran Luas Area Antara Theodolit Dan Global Positioning System. LOGIKA Jurnal Ilmiah Lemlit Unswagati Cirebon, 22(3), 58-64. <http://jurnal.ugj.ac.id/index.php/logika/article/view/2019>
- Basjaruddin, N. C., Kuspriyanto, K., Saefudin, D., & Nugraha, I. K. (2014). *Developing adaptive cruise control based on fuzzy logic using hardware simulation. International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 4(6), 944-951. <http://dx.doi.org/10.11591/ijece.v4i6.6734>
- Bisono, F. (2017). Proses Kalibrasi Sumbu X, Y, Dan Z Pada Mesin CNC Router Kayu 3 Axis Menggunakan Alat Bantu Dial Indicator dan Block Gauge. *In Proceedings Conference on Design Manufacture Engineering and its Application*, 1(1), 350-356. <https://core.ac.uk/download/pdf/236670626.pdf>
- Prabowo, G. (2016). Analisa Pengaruh Sumbu X Proses Kalibrasi Pada Mesin Cnc Router 3 Axis. Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta. <https://core.ac.uk/download/pdf/148611118.pdf>
- Imran, A., Bagenda, F., Suhartono, Y., Wibowo, N. R., & Ishak, I. (2019). Rancang Bangun Mesin CNC Milling 3 Axis Berbasis Mikrokontroler. *Mechatronics Journal in Professional and Entrepreneur (MAPLE)*, 1(1), 21-26. <http://repository.upstegal.ac.id/id/eprint/965>
- Izulu, C. O., Eze, S. C., Oreko, B. U., Edward, B. A., & Garba, D. K. (2013). *Response surface methodology in the study of induced machining vibration and work surface roughness in the turning of 41Cr4 alloy steel. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(12), 13-17. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.450.1690&rep=rep1&type=pdf>
- Malik, I., Azharuddin, A., & Dewi, C. K. (2019). Aplikasi Hasil Rancang Bangun Mesin CNC Router Terhadap Proses Permesinan Cutting Speed, Feeding Cutting Dan Depth Of Cut Terhadap Waktu. *Austenit*, 11(1), 11-15. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4547787>
- Ginting, R., Hadiyoso, S., & Aulia, S. (2017). Implementation 3-Axis CNC Router For Small Scale Industry. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(17), 6553-6558. https://ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n17_34.pdf
- Saputra, R. P., Ardiansyah, R. A., Mirdanies, M., Santoso, A., Nugraha, A. S., Muqrobin, A., & Rijanto, E. (2011). Perancangan dan Pengujian Awal Kendali Motor DC Brushless untuk independent 4-Wheel Drive Platform Robot Rev-11. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Tehnology*, 2, 85-94. http://www.telimek.lipi.go.id/xdata/docs/v02n2_5.pdf
- Malik, I., Azharuddin, A., & Riyadi, S. (2019). Pengaruh Spindle Speed, Feed Rate, Dan Depth Of Cut Terhadap Akurasi Hasil Permesinan Pada Mesin CNC Router 3 Sumbu. *Austenit*, 11(2), 33-40. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4547801>
- Syaifudin, M. U., & Syafri, S. U. (2017). Pengaruh Kesalahan Dimensi Terhadap Ketelitian Gerak Output Mesin Milling 3 Axes. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains*. Vol 4(2), 1-7. <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/16380>
- Yulius Elvys, E., & Sirama, S. (2015). Peningkatan Keakurasian Gerakan Pada Prototype Mesin Cnc Milling 3-Axis. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV)*. Banjarmasin, 7-8 Oktober 2015. <http://prosiding.bkstm.org/prosiding/2015/MAN-12.pdf>
- Bangse, K., Wibolo, A., & Wiryanta, I. K. E. H. (2020). *Design and fabrication of a CNC router machine for wood engraving. In Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1450, No. 1, p. 012094). IOP Publishing. https://ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n17_34.pdf
- Harrizal, I. S., Syafri, S., & Prayitno, A. (2017). *Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin CNC Milling 3 Axis Menggunakan Close Loop System* (Doctoral dissertation, Riau University). <https://www.neliti.com/publications/184294/rancang-bangun-sistem-kontrol-mesin-cnc-milling-3-axis-menggunakan-close-loop-sy>