

ANALISIS GEOMETRIK KERATAAN PADA PRODUK MESIN *MILLING* CNC *PROTOTYPE 3 AXIS*

Amad Dailimi¹, Oleh², Iman Dirja³

Jurusan Teknik Mesin, Univesitas Singaperbangsa Karawang

amaddailimimesin2@gmail.com

Abstract (English)

Mechanical and control system capable of reading N, G, F, T, and other code instructions. The codes will be instructed to the CNC machine interface system, so that the machine can work in accordance with the program listings that have been made. In general the selling price of this machine is still very high. Therefore, in this study designed a CNC machine with low cost which is intended for small and medium enterprises (SMEs). This CNC milling assembly machine has 3 axes that is X, Y and Z axis. In this research, the CNC milling 3 axes machine is consists of several important components such as guide ways, transmission system, driver and controller. These components are widely available in the market. CNC milling machine has dimensions size of machine length of 700 mm x width of 600 mm x height of 1227 mm. the CNC milling machine 3 axes has advantages that can make several types of wood carving products and acrylic. The results of the test where obtained accuracy of CNC milling 3 axes machine for Y axis that was 0.1946 mm and for X axis of 0.2463 mm.

Article History

Submitted: 14 October 2024

Accepted: 23 October 2024

Published: 24 October 2024

Key Words

CNC, dimensions,
accuracy, axis

1. Pendahuluan

Mesin *milling* CNC *prototype 3 axis* adalah mesin perkakas yang memiliki prinsip kerja penyayatan atau pemakanan pada benda kerja dengan menggunakan alat potong yang berputar dan memiliki mata potong [1]. Pada saat mesin *milling* CNC *prototype 3 axis* pembuatan produk, mesin *milling* CNC *prototype 3 axis* ini sebelumnya harus dilakukan setting atau menentukan paramater pemesinan yang akan digunakan saat proses permesinan. Parameter tersebut adalah kecepatan pemakanan atau *feedrate* (v_f) dan kedalaman pemotongan atau *depth of cut* (a) [1]. Dalam pemesinan dengan menggunakan proses *milling* atau freis, terdapat elemen-elemen dasar seperti kecepatan potong (v), kecepatan makan (v_f), dan waktu pemotongan (t_c) [2].

Mesin *milling* CNC *prototype 3 axis* ini diperuntukan untuk memenuhi kebutuhan UKM (Usaha Kecil dan Menengah) di bidang manufaktur [3]. Salah satu material yang banyak digunakan pada industri manufaktur adalah alumunium. Dengan demikian mesin *milling* CNC *prototype 3 axis* diuji dalam kemampuannya untuk membuat produk dengan material aluminium. Variabel yang diuji adalah kerataan hasil pemesinan pada material aluminium. Alasan dipilihnya kerataan sebagai variabel yang diuji adalah karena kerataan merupakan karakteristik geometrik yang apabila terjadi penyimpangan, akan berpengaruh pada fungsional & proses perakitan produk. Karakteristik geometrik dari suatu produk mencakup bentuk (*form*), posisi (*position*), Orientasi (*Orientation*), dan penyimpangan putar (*Run Out*) [4].

Berdasarkan uraian di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji kemampuan mesin dalam membuat produk dengan material aluminium dan mengetahui nilai kerataan paling baik yang dapat dihasilkan oleh mesin *milling* CNC *prototype 3 axis* pada material aluminium. Serta untuk mengetahui pengaruh kecepatan pemakanan (*feedrate*) dan kedalaman pemotongan (*depth of cut*) terhadap kerataan produk.

Dengan demikian, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Analisis Geometrik Kerataan Pada Produk Mesin *Milling* CNC *Prototype 3 AXIS*”.

2. Metodologi

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dimulai dari bulan Februari 2019 sampai dengan Juni 2019, di Laboratorium Proses Produksi Fakultas Teknik Universitas Singaperbangsa Karawang.

2.2. Alat dan Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini, diperlukan beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian. Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mesin *Milling* CNC *Prototype 3 Axis*,

Pisau *endmill*, Alat Ukur, *Software* CAD dan CAM, dan Peralatan lain seperti *personal computer* atau laptop, *software* analisis statistik *Minitab* 18, *spidol*, dan kamera.

Pembuatan produk menggunakan material aluminium 5052. Aluminium 5052 memiliki *melting temperature* 607°C - 650°C sehingga tahan terhadap deformasi akibat perubahan temperatur ruangan maupun temperatur pemesian. Produk yang dibuat berdimensi panjang 100 mm, lebar 50 mm, dan tebal 20 mm.

2.3. Rancangan Eksperimen

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Rancangan eksperimen adalah evaluasi secara serentak dua atau lebih faktor atau parameter terhadap kemampuannya untuk mempengaruhi rata-rata hasil atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu [1]. Untuk mengetahui pengaruh faktor atau parameter terhadap hasil secara efektif, selanjutnya dianalisis untuk menentukan faktor mana yang berpengaruh serta mengetahui hasil maksimal yang dapat diperoleh [1].

Metode eksperimen yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode eksperimen faktorial. Langkah-langkah yang digunakan dalam eksperimen faktorial pada penelitian ini adalah pemilihan faktor terkendali dan tidak terkendali, penentuan jumlah level dan nilai level pada setiap faktor, dan pemilihan *matriks orthogonal/ matriks full factorial*.

2.4. Teknik Pengambilan Data

Teknik pengambilan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan melakukan proses pemesian dan pengujian.

1. Pemesinan

Pemesinan dalam penelitian ini adalah proses pelaksanaan eksperimen dengan pembuatan spesimen. Dimana proses pembuatan spesimen dilakukan dengan melakukan pemesian pada material awal, dan dilakukan proses pemesian permukaan atau *facing*. Proses pemesian dilakukan dengan kombinasi parameter pemesian seperti pada desain eksperimen yang telah dibuat, sehingga akan dibuat 9 buah spesimen.

Adapun untuk prosedur dalam proses pemesian atau pembuatan spesimen yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pembuatan desain spesimen, pembuatan alur proses pemesian, mempersiapkan alat dan bahan penelitian, mengatur titik nol benda kerja, dan menjalankan mesin.

2. Pengujian

Proses pengujian dalam penelitian ini adalah proses pengujian geometrik kerataan produk hasil pemesian dengan melakukan pengukuran geometrik kerataan. Dari hasil pemesian didapatkan 9 buah spesimen. Pengukuran kerataan dilakukan pada permukaan spesimen yang diberi tanda toleransi geometrik kerataan dengan acuan titik dengan ketinggian nol, dan selanjutnya penyesuaian ketinggian setiap titik seterusnya. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur *dial indicator*.

2.4. Teknik Analisis Data

Data-data hasil pengukuran menggunakan *dial indicator*, diolah dengan menggunakan persamaan 2.1 untuk mendapatkan data penyimpangan geometrik kerataan pada masing-masing spesimen [5]. Adapun untuk persamaannya sebagai berikut :

$$\delta_p = A_{max} - A_{min} \leq t_p \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

δ_p = Penyimpangan kerataan (mm)

A_{max} = Ketinggian maksimum permukaan (mm)

A_{min} = Ketinggian minimum permukaan (mm)

t_p = Toleransi kerataan (mm)

Setelah itu akan didapatkan data nilai penyimpangan geometrik kerataan pada 9 buah spesimen. Data penyimpangan kerataan yang terjadi pada produk atau spesimen akan dibandingkan dengan toleransi umum kerataan, untuk mengetahui apakah penyimpangan pada produk mesin *milling* CNC *prototype 3 axis* masih dalam batas toleransi umum atau tidak. Toleransi umum kerataan adalah pada ISO 2768 [5]. Untuk memvisualisasikan

penyimpangan kerataan yang terjadi pada produk, data ketinggian titik dari hasil pengukuran dibuat kedalam grafik, sehingga dapat diketahui orientasi kerataan permukaan produk.

Analisis yang terakhir dilakukan proses analisis data terhadap data penyimpangan kerataan dengan melakukan uji statistik ANOVA dengan bantuan *software Minitab 18*. Sebelum dilakukan uji statistik ANOVA pada *software minitab 18*, terlebih dahulu dilakukan uji statistik ANOVA pada *software microsoft excel* yang bertujuan untuk mendapatkan nilai F-tabel.

3. Hasil

3.1. Hasil Pengujian Kerataan

Pada pengukuran geometrik kerataan dilakukan dengan menggunakan alat ukur *dial indicator* dengan ketelitian 0,01 mm. Adapun proses pengukuran geometrik kerataan yang telah dilakukan menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 1. Data ketinggian permukaan (mm)

Spesimen	Titik Pengukuran											
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
1	0,00	0,03	0,07	0,11	0,15	0,18	0,21	0,25	0,28	0,30	0,30	0,34
2	0,00	0,01	0,01	0,03	0,02	-0,02	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
3	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03
4	0,00	0,00	-0,02	-0,03	-0,04	-0,09	-0,12	-0,16	-0,19	-0,20	-0,25	-0,26
5	0,00	0,00	-0,02	-0,03	-0,04	-0,09	-0,14	-0,18	-0,19	-0,21	-0,24	-0,26
6	0,00	-0,01	-0,04	-0,08	-0,12	-0,15	-0,20	-0,24	-0,28	-0,31	-0,35	-0,39
7	0,00	-0,05	-0,11	-0,15	-0,20	-0,24	-0,28	-0,33	-0,37	-0,40	-0,43	-0,45
8	0,00	-0,02	-0,03	-0,02	0,00	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,07	0,08
9	0,00	-0,01	-0,03	-0,06	-0,09	-0,11	-0,15	-0,19	-0,22	-0,26	-0,29	-0,32

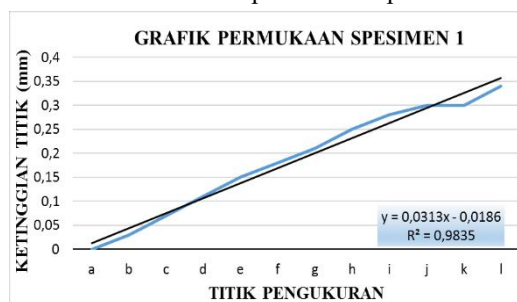
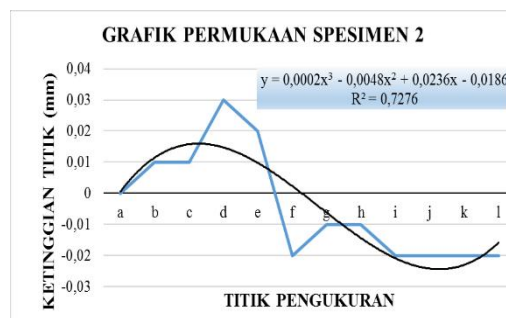
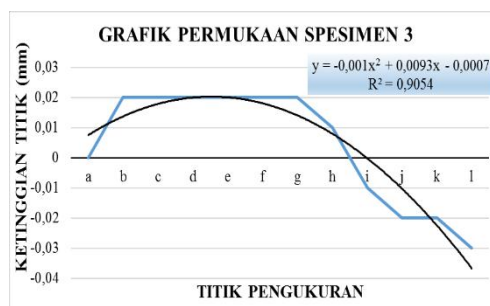
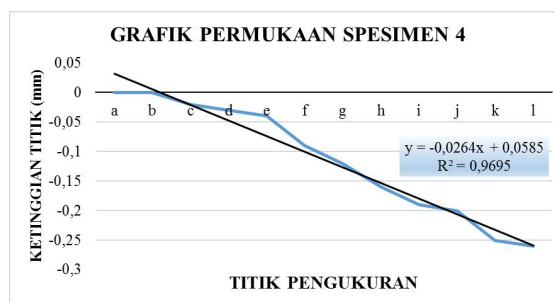
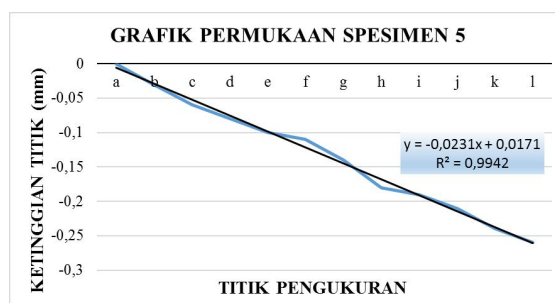
Dari data yang didapat dari hasil pengukuran pada setiap titik pengukuran pada masing-masing spesimen, maka dicari nilai ketinggian titik minimum dan ketinggian titik maksimum [5].

Hasil perbandingan ketinggian maksimum dan minimum permukaan pada setiap spesimen dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini.

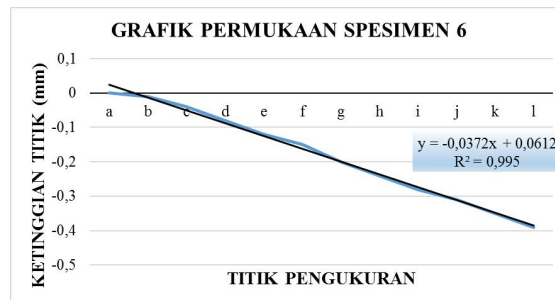
Tabel 2. Penyimpangan Kerataan (mm)

Spesimen	Ketinggian Titik Maksimum	Ketinggian Titik Minimum	Penyimpangan Kerataan
1	0,34	0	0,34
2	0,03	-0,02	0,05
3	0,02	-0,03	0,05
4	0	-0,26	0,26
5	0	-0,26	0,26
6	0	-0,39	0,39
7	0	-0,45	0,45
8	0,08	-0,03	0,11
9	0	-0,32	0,32

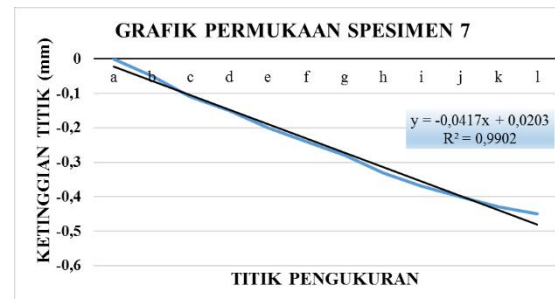
Agar lebih mudah dalam melakukan analisis, data ketinggian permukaan pada setiap spesimen dibuat grafik untuk menggambarkan permukaan benda kerja [6].

Gambar 1. Grafik permukaan spesimen 1**Gambar 2.** Grafik permukaan spesimen 2**Gambar 3.** Grafik permukaan spesimen 3**Gambar 4.** Grafik permukaan spesimen 4**Gambar 5.** Grafik permukaan spesimen 5

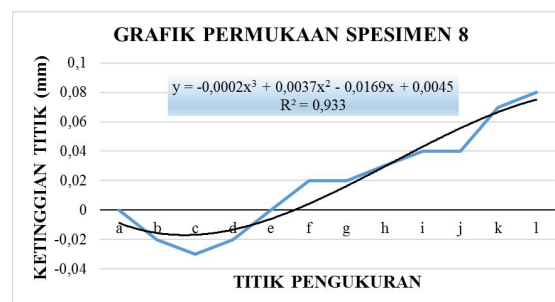
Gambar 6. Grafik permukaan spesimen 6



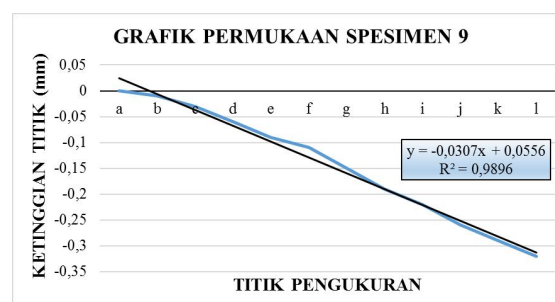
Gambar 7. Grafik permukaan spesimen 7



Gambar 8. Grafik permukaan spesimen 8



Gambar 9. Grafik permukaan spesimen 9



Bidang permukaan pada spesimen 1 dari hasil data pengukuran menunjukkan data yang linear. Bidang permukaan pada spesimen 2 menunjukkan data yang fluktuatif. Sama halnya dengan spesimen 2, spesimen 3 menunjukkan penurunan di akhir, data pengukuran pada spesimen 3 menunjukkan data yang fluktuatif. Orientasi bidang permukaan pada spesimen 4 menunjukkan data yang linear. Pada bidang permukaan spesimen 5 menunjukkan data yang linear. Spesimen 6 dan spesimen 7 menunjukkan data yang linear. Pada spesimen 8, menunjukkan data yang fluktuatif. Pada spesimen yang terakhir yaitu spesimen 9, menunjukkan data yang linear.

Maka, produk yang paling baik yang dapat dihasilkan oleh mesin *milling* CNC *prototype* 3 *axis* adalah produk spesimen 3, karena memiliki penyimpangan kerataan terkecil yaitu 0,05 mm dengan orientasi bidang permukaan cenderung rata ditengah dan menunjukkan penurunan di akhir.

3.2. Hasil Analisis ANOVA

Dari hasil eksperimen pengujian, dilakukan analisis statistik ANOVA menggunakan bantuan *software minitab* 18. Analisis statistik ANOVA bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing variabel bebas yaitu *feedrate* dan *depth of cut* terhadap penyimpangan kerataan yang terjadi pada permukaan spesimen yang dilakukan proses pemesinan. Hasil dari analisis statistik ANOVA yang telah dilakukan terlihat pada tabel 4.3 dibawah ini.

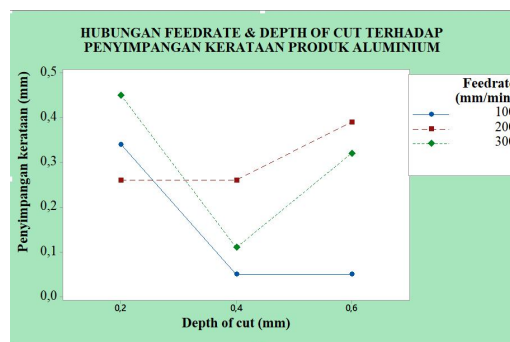
Tabel 3. Hasil analisis ANOVA

Source of variation	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-hitung	F-tabel	Sig.
Feedrate	2	0,04616	26,78%	0,04616	0,02308	1,54	6,94	0,319
Depth of cut	2	0,06629	38,46%	0,06629	0,03314	2,21	6,94	0,225
Error	4	0,05991	34,76%	0,05991	0,01498			
Total	8	0,17236	100,00%					

Nilai F-tabel dari masing-masing varian adalah 6,94 (didapat dari perhitungan dengan bantuan *software microsoft excel*), analisis ANOVA dilakukan dengan nilai α sebesar 0,05 maka berdasarkan tabel hasil ANOVA pada tabel 4.3 diatas, diketahui nilai F-hitung pada *feedrate* lebih kecil dari F-tabel ($1,54 < 6,94$) dan nilai sig lebih besar dari nilai α ($0,319 > 0,05$), maka berdasarkan ketentuan pengambilan keputusan dengan demikian hipotesis H_{01} yang menyatakan bahwa "*feedrate* tidak berpengaruh secara signifikan" diterima.

Kemudian untuk *depth of cut* berdasarkan hasil ANOVA pada tabel 4.3 diatas, diketahui nilai F-hitung pada *depth of cut* lebih kecil dari F-tabel ($2,24 < 6,94$) dan nilai sig lebih besar dari nilai α ($0,225 > 0,05$), maka berdasarkan ketentuan pengambilan keputusan dengan demikian hipotesis H_{02} yang menyatakan bahwa "*depth of cut* tidak berpengaruh secara signifikan" diterima.

Gambar 10. Hubungan *feedrate* & *depth of cut* terhadap kerataan



Pada grafik hubungan *feedrate* dan *depth of cut* terhadap penyimpangan kerataan dapat dilihat bahwa dengan memvariasikan parameter pemesinan, produk material aluminium yang dihasilkan memiliki penyimpangan kerataan yang bervariasi pula. Walaupun seperti diketahui sebelumnya pada hasil analisis ANOVA yang menyatakan bahwa parameter pemesinan *feedrate* dan *depth of cut* tidak mempengaruhi secara signifikan terhadap penyimpangan kerataan, oleh sebab itu parameter pemesinan tersebut tetap memiliki pengaruh namun tidak signifikan.

4. Pembahasan

4.1. Pengujian Kerataan

Berdasarkan hasil eksperimen, didapat data penyimpangan geometrik kerataan yang terjadi pada 9 spesimen. Terlihat bahwa penyimpangan geometrik kerataan yang terjadi pada produk mesin *milling CNC prototype 3 axis* berkisar antara 0,05 mm hingga 0,45 mm (terkecil hingga terbesar). Penyimpangan geometrik kerataan yang terkecil yaitu 0,05 mm terjadi pada spesimen 2 dan spesimen 3, sedangkan penyimpangan geometrik kerataan yang terbesar

adalah 0,45 mm terjadi pada spesimen 7. Berdasarkan toleransi umum kerataan pada tabel 2.2 untuk panjang permukaan benda kerja 100 mm, toleransi geometrik kerataan adalah sebesar 0,1 mm untuk kelas H, 0,2 mm untuk kelas K, dan 0,4 mm untuk kelas L [5]. Hal ini menunjukkan bahwa penyimpangan geometrik kerataan terbesar pada produk mesin *milling* CNC *prototype* 3 axis melewati batas toleransi umum yang ditetapkan oleh standar ISO 2768.

3.2. Analisis ANOVA

Berdasarkan analisis ANOVA menunjukkan bahwa parameter pemesinan *feedrate* tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penyimpangan kerataan produk. Serta menunjukkan bahwa parameter pemesinan *depth of cut* tidak memiliki pengaruh secara signifikan terhadap penyimpangan kerataan produk.

Dari hasil grafik hubungan *feedrate* dan *depth of cut* terhadap penyimpangan kerataan menyatakan bahwa pada *feedrate* 100 mm/min, dengan *depth of cut* 0,2 mm menghasilkan penyimpangan kerataan 0,34 mm, ketika *depth of cut* dinaikan pada 0,4 mm dengan *feedrate* yang sama, penyimpangan kerataan menurun pada nilai 0,05 mm, ketika *depth of cut* dinaikan kembali menjadi 0,6 mm masih dengan *feedrate* yang sama yaitu 100 mm/min, penyimpangan kerataan tetap pada nilai 0,05 mm. Selanjutnya pada *feedrate* 200 mm/min dengan *depth of cut* 0,2 mm menghasilkan penyimpangan kerataan 0,26 mm, ketika *depth of cut* dinaikan pada 0,4 mm dengan *feedrate* yang sama, penyimpangan kerataan tetap pada nilai 0,26 mm, ketika *depth of cut* dinaikan kembali menjadi 0,6 mm masih dengan *feedrate* yang sama yaitu 200 mm/min, penyimpangan kerataan terjadi kenaikan pada nilai 0,39 mm. Dan pada *feedrate* 300 mm/min, dengan *depth of cut* 0,2 mm menghasilkan penyimpangan kerataan 0,45 mm, ketika *depth of cut* dinaikan pada 0,4 mm dengan *feedrate* yang sama, penyimpangan kerataan menurun pada nilai 0,11 mm, ketika *depth of cut* dinaikan kembali menjadi 0,6 mm masih dengan *feedrate* yang sama yaitu 300 mm/min, penyimpangan kerataan kembali terjadi kenaikan pada nilai 0,32 mm. Maka variasi parameter pemesinan yang menghasilkan produk berbahan aluminium yang memiliki nilai kerataan paling baik adalah variasi *feedrate* 100 mm/min dengan *depth of cut* 0,4 mm (spesimen 2) dan *feedrate* 100 mm/min dengan *depth of cut* 0,6 mm (spesimen 3). Namun dari kedua variasi tersebut, variasi *feedrate* 100 mm/min dengan *depth of cut* 0,6 mm masih lebih baik dari variasi *feedrate* 100 mm/min dengan *depth of cut* 0,4 karena memiliki permukaan yang cenderung rata.

5. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisa, dan pembahasan dalam penelitian ini maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Mesin *milling* CNC *prototype* 3 axis mampu melakukan pemesinan pada produk dengan material aluminium, dengan penyimpangan kerataan berkisar antara 0,05 mm hingga 0,45 mm, penyimpangan terbesar yang terjadi adalah 0,45 mm melewati batas toleransi umum ISO 2768, yaitu untuk panjang permukaan benda kerja 100 mm, toleransi geometrik kerataan adalah sebesar 0,1 mm untuk kelas H, 0,2 mm untuk kelas K, dan 0,4 mm untuk kelas L.
- Parameter pemesinan *Feedrate* dan *depth of cut* tidak mempengaruhi penyimpangan kerataan produk dengan material aluminium pada mesin *milling* CNC *prototype* 3 axis secara signifikan, parameter pemesinan yang menghasilkan kerataan paling baik adalah pada variasi *feedrate* 100 mm/min dengan *depth of cut* 0,6 mm, sedangkan parameter pemesinan yang menghasilkan penyimpangan kerataan paling besar adalah pada variasi *feedrate* 300 mm/min dengan *depth of cut* 0,2 mm.

Daftar Pustaka

- [1] Anto, E. (2013). *Optimasi Parameter Pemesinan Terhadap Waktu Proses pada Pemrograman CNC Turning*. Skripsi FT UNNES. UNNES Semarang: tidak diterbitkan.
- [2] Rochim, T (2007). *Klasifikasi Proses, Gaya & Daya Pemesinan*. Bandung: ITB.
- [3] Syaifudin, M. dan Syafri (2017). “Pengaruh Kesalahan Dimensi Terhadap Ketelitian Gerak Output”. *Jom FTEKNIK* 4. (2). 1-7.
- [4] Rochim, T (2001). *Spesifikasi, Metrologi, dan Kontrol Kualitas Geometrik* (Edisi pertama). Bandung: ITB.

- [5] Henzold, G (2006). *Geometrical Dimensioning and Tolerancing for Design, Manufacturing and Inspection: A Handbook for Geometrical Product Specification using ISO and ASME standards* (Edisi kedua). Amsterdam: Elseiver.
- [6] Rochim, T (2016). *Spesifikasi Produk Geometrik*. Bandung: ITB.